

Physique Chimie

Enseignement de spécialité

Term
STI2D

Nouveau
programme

Sous la direction de Julien Barthes

Hélène Carlier • Philippe Chaffard

Marc Kefer • Erwan Le Tressoler

Yoann Lefevre • Virginie Michel

Mikael Sedze-Hoo • Samuel Servant

Ressources
flash



Manuel
numérique





hachette
TECHNIQUE

Puissances sur la calculatrice


Avec une calculatrice Casio

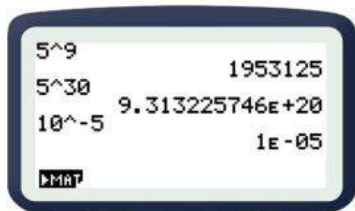
Utiliser les puissances

1. Repérer la touche 
2. Pour obtenir la valeur de 5^9 , taper 5  9.
3. Si le résultat d'un calcul comporte trop de décimales, la calculatrice donne le résultat en écriture scientifique.

Exemple : $5^{30} = 9,313225746 \cdot 10^{20}$

Sur la calculatrice :





5  30 donne **9.313225746E+20**

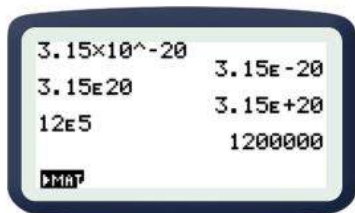


Écriture scientifique

Pour saisir un nombre en écriture scientifique



Exemple : on peut utiliser la séquence de touches suivante :

- Séquence de touches : 3.15×10^{20}   20
Attention, le « moins » n'est pas celui de la touche de la soustraction.
- Autre séquence possible : 3.15×10^{20}   20




Avec une calculatrice TI

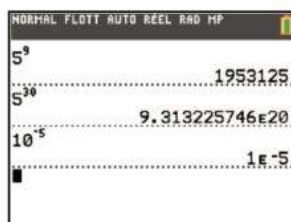
Utiliser les puissances

1. Repérer la touche 
2. Pour obtenir la valeur de 5^9 , taper 5  9.
3. Si le résultat d'un calcul comporte trop de décimales, la calculatrice donne le résultat en écriture scientifique.

Exemple : $5^{30} = 9,313225746 \cdot 10^{20}$

Sur la calculatrice :





5  30 donne **9.313225746E+20**

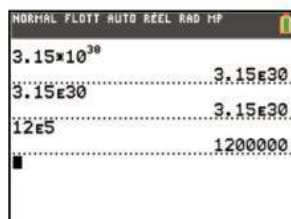


Écriture scientifique

Pour saisir un nombre en écriture scientifique.

Exemple : on peut utiliser la séquence de touches suivante :

- Séquence de touches : 3.15×10^{20}   20
Attention, le « moins » n'est pas celui de la touche de la soustraction.
- Autre séquence possible : 3.15×10^{20}  ,  20

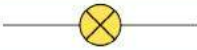
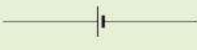
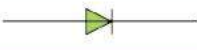









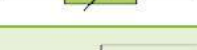











Avec une calculatrice Numworks

Retrouvez le mode d'emploi ici



Schémathèque électrique

Désignation	Symbole
Lampe	
Pile, générateur	
Diode	
Générateur de tension alternative	
D E L : diode électroluminescente	
Résistance	
Fusible	
Moteur	
Interrupteur ouvert	
Interrupteur fermé	
Ampèremètre	
Voltmètre	
Résistance variable	
Potentiomètre	
Mise à la terre	
Mise à la masse	
Ohmmètre	
Wattmètre	
Photorésistance	
Photodiode	
Phototransistor NPN	
Cellule photovoltaïque	

Grandeurs et unités du système international

Grandeur	Longueur	Masse	Temps	Température	Intensité du courant électrique	Quantité de matière	Intensité lumineuse
Unité	mètre	kilogramme	seconde	kelvin	ampère	mole	candela
Symbole	m	kg	s	K	A	mol	cd

Grandeurs et unités dérivées en électricité

Grandeur	Unité (symbole)	Autres unités usuelles
Tension du courant	volt (V)	/
Résistance électrique	ohm (Ω)	/
Énergie	joule (J)	kilowatt-heure (kW.h) : 1 kW.h = $3,6 \cdot 10^6$ J
Puissance	watt (W)	/
Quantité d'électricité ou charge électrique	coulomb (C)	/
Capacité d'un condensateur	farad (F)	/
Inductance	henry (H)	/

Grandeurs et unités dérivées liées à l'espace et au temps

Grandeur	Unité (symbole)	Autres unités usuelles
Aire	mètre carré (m^2)	are : 1 are = $100 m^2$
Volume	mètre cube (m^3)	litre : 1 L = $10^{-3} m^3$
Fréquence	hertz (Hz)	/
Vitesse linéaire	mètre par seconde ($m \cdot s^{-1}$)	kilomètre par heure ($km \cdot h^{-1}$)
Vitesse angulaire	radian par seconde ($rad \cdot s^{-1}$)	degré par seconde ($^\circ \cdot s^{-1}$)
Accélération linéaire	mètre par seconde carrée ($m \cdot s^{-2}$)	kilomètre par heure carrée ($km \cdot h^{-2}$)
Accélération angulaire	radian par seconde carrée ($rad \cdot s^{-2}$)	degré par seconde carrée ($^\circ \cdot s^{-2}$)

Grandeurs et unités dérivées en mécanique

Grandeur	Unité (symbole)	Autres unités usuelles
Masse volumique	kilogramme par mètre cube ($kg \cdot m^{-3}$)	gramme par centimètre cube ($g \cdot cm^{-3}$) : $1 g \cdot cm^{-3} = 10^{-3} kg \cdot m^{-3}$
Force, poids	newton (N)	/
Pression	pascal (Pa)	bar (bar) : 1 bar = 10^5 Pa
Travail, énergie	joule (J)	kilowatt-heure (kW.h) : 1 kW.h = $3,6 \cdot 10^6$ J
Puissance	watt (W)	cheval-vapeur (ch) : 1 ch = 736 W
Moment d'un couple	newton-mètre (N.m)	/
Débit	mètre cube par seconde ($m^3 \cdot s^{-1}$)	litre par seconde ($L \cdot s^{-1}$) : $1 L \cdot s^{-1} = 10^{-3} m^3 \cdot s^{-1}$

Symboles de danger des produits chimiques

→ Les étiquettes des produits chimiques portent des pictogrammes indiquant le danger présenté par le produit considéré.

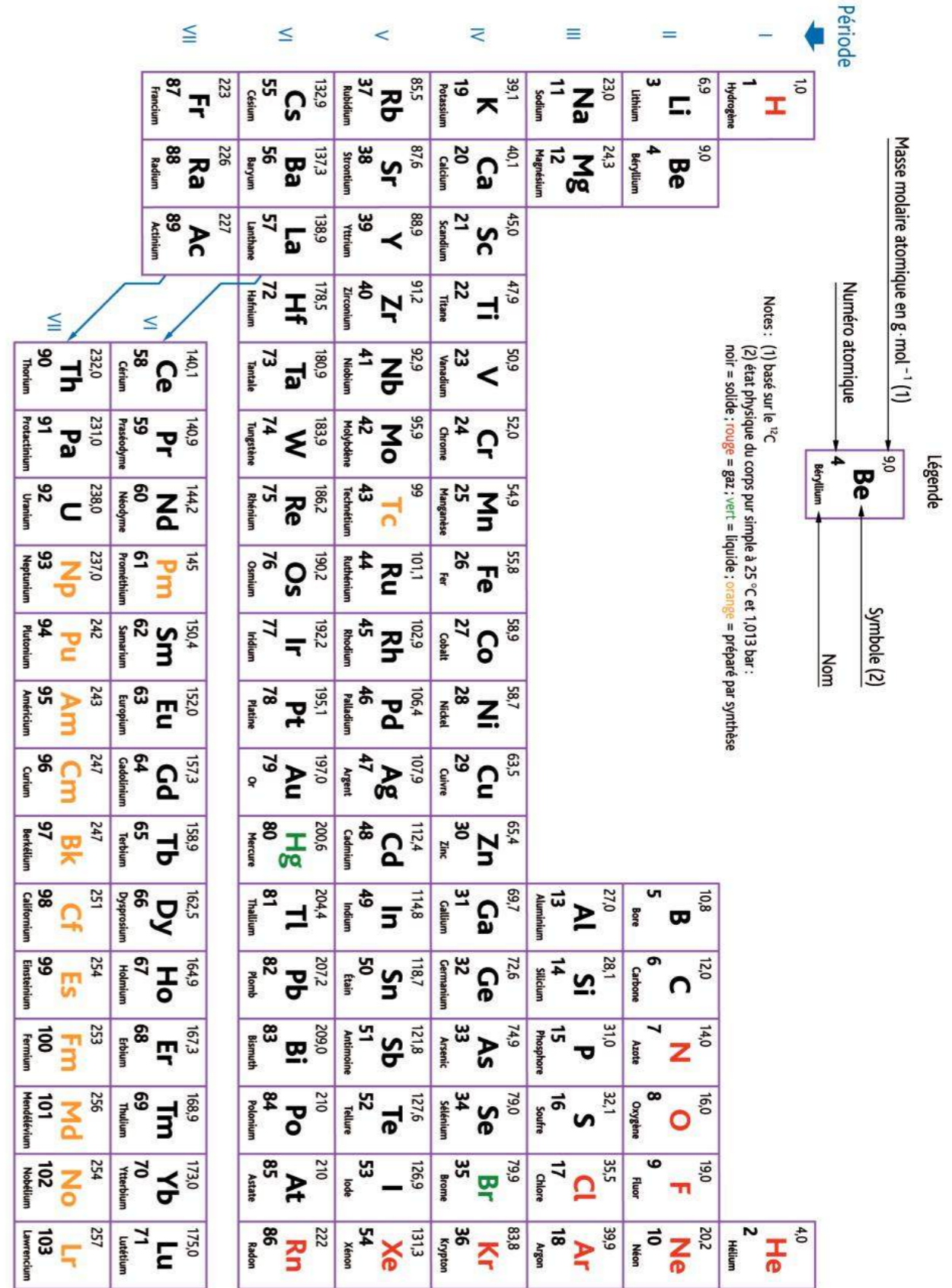
→ Depuis janvier 2009, l'étiquetage des produits chimiques évolue vers les nouveaux pictogrammes de danger SGH (Système Général Harmonisé).

SGH01	SGH02	SGH03	SGH04	SGH05	SGH06	SGH07	SGH08	SGH09
Produits explosifs	Produits inflammables	Produits comburants	Gaz sous pression	Produits corrosifs	Produits toxiques même à faible dose	Produits toxiques à forte dose, irritants, sensibilisants, narcotiques	Produits cancérogènes, mutagènes, reprotoxiques, sensibilisants	Produits néfastes sur les organismes du milieu aquatique

→ Anciens symboles toujours utilisés :

Symbole	Signification	Mesures à prendre
	E Explosif	Manipuler loin des flammes, des étincelles, des sources de chaleur. Éviter les chocs, le frottement.
	O Comburant	Tenir à l'écart des combustibles repérés F+ ou F. Manipuler loin des flammes, des étincelles et des sources de chaleur.
	T+ Très toxique T Toxique	Proscrire soigneusement : l'ingestion, l'inhalation, le contact avec la peau, en tenant compte des indications de risque (R, suivi d'un ou plusieurs numéros).
	Xn Nocif	Mêmes mesures que ci-dessus. Le risque est moindre, mais réel : éviter l'ingestion, l'inhalation, le contact avec la peau, selon les indications de risque.
	F+ Extrêmement inflammable F Facilement inflammable	Tenir à l'écart des comburants. Manipuler loin des flammes, des étincelles et des sources de chaleur.
	C Corrosif	Prendre toutes les mesures de protection des yeux, de la peau, des vêtements. Voir les indications de sécurité (S suivi d'un ou plusieurs numéros). Ne pas inhaler les vapeurs.
	Xi Irritant	Éviter soigneusement le contact avec les yeux et la peau. Ne pas inhaler les vapeurs. En cas de projection, laver à grande eau.
	N Dangereux pour l'environnement	Éviter le rejet dans l'environnement. Éliminer ce produit et son récipient comme un déchet dangereux, dans un centre de collecte des déchets dangereux ou spéciaux.

Classification périodique de Mendeleïev



Physique Chimie

Enseignement de spécialité

Term
STI2D

Nouveau
programme

Nous remercions chaleureusement nos auteurs...

Sous la direction de **Julien Barthes**

Professeur en CPGE, Lycée Carnot, Dijon

Hélène Carlier

Professeure de Physique-chimie
Lycée polyvalent Les Iris de Lormont
Académie de Bordeaux

Philippe Chaffard

Professeur de Physique-chimie
Lycée Jean-Monnet d'Annemasse
Académie de Grenoble

Marc Kefer

Agrégé de Physique-chimie
Lycée polyvalent Les Iris de Lormont
Académie de Bordeaux

Erwan Le Tressoler

Professeur de Physique et électricité appliquée
BTS électrotechnique
Lycée Jean-Monnet d'Annemasse
Académie de Grenoble

Yoann Lefevre

Agrégé de Physique-chimie
Lycée Benjamin Franklin d'Orléans
Académie d'Orléans-Tours

Virginie Michel

Professeure de Physique et électricité appliquée
Lycée Alfred Kastler de Talence
Académie de Bordeaux

Mikaël Sedze-Hoo

Agrégé de Physique-chimie
Lycée polyvalent Les Iris de Lormont
Académie de Bordeaux

Samuel Servant

Professeur de Physique et électricité appliquée
Lycée de la Mer de Gujan-Mestras
Académie de Bordeaux

À NE PAS MANQUER

Avec votre manuel Hachette Technique

GRATUIT VOS RESSOURCES NUMÉRIQUES

	PROFESSEUR RESSOURCES ENSEIGNANT À TÉLÉCHARGER 	PROFESSEUR* ÉLÈVES** MANUEL NUMÉRIQUE PREMIUM 	PROFESSEUR ÉLÈVES RESSOURCES À FLASHER DANS LE MANUEL 
	hachette-education.com	jeteste.fr/3326944	lycee.hachette-education.com/pcsti2d/tle/
Livre du professeur	✓		
Fichiers tableur, Python	✓	✓	
Diaporama question flash	✓		
Exercices d'autoévaluation		✓	
Applications		✓	✓
Vidéo Equascience		✓	
Liens vers des vidéos		✓	✓
Liens vers des sites		✓	✓

* Offert à l'enseignant si 100 % de la classe est équipée en manuels papier ou numériques. ** Spécial Réforme Lycée : une licence du manuel numérique est offerte à chaque élève pour 5 ans. Offre valable jusqu'au 31/12/2020 si vous équipez 100 % de la classe en manuels papier.



VOTRE MANUEL NUMÉRIQUE PREMIUM

- ▶ Présentation identique au manuel papier
- ▶ Vidéoprojection
- ▶ Téléchargeable
- ▶ Ressources complémentaires
- ▶ Exportable sur clé USB

À découvrir sur jeteste.fr/3326944



Pour captiver vos élèves

Des vidéos et reportages



► En **lancement de chapitre** ou pour illustrer vos **activités documentaires ou expérimentales**, retrouvez le meilleur du web et les vidéos sur-mesure conçues avec notre partenaire **Equascience**.

À découvrir sur jeteste.fr/3326944

Pour motiver vos élèves

Des exercices interactifs et autocorrigés



► Dans le manuel numérique, ces exercices permettent à vos élèves de s'entraîner de façon ludique et de s'autoévaluer.

À découvrir sur jeteste.fr/3326944

Pour vos évaluations diagnostiques et formatives

Les diaporamas des questions flash



► Des **diaporamas** reprenant les **questions flash** de lancement de chapitre et d'auto-évaluation pour **animer la classe** et aider les élèves à **réactiver leurs acquis**.

À découvrir sur hachette-education.com

Les Sciences Physiques, au cœur des applications technologiques !

» Pour comprendre comment les **innovations technologiques révolutionnent notre quotidien**, les Sciences Physiques décortiquent les concepts fondamentaux utilisés.

Nous avons donc eu à cœur de proposer :

- des **activités** expérimentales ou documentaires ;
- un **cours clair** et largement illustré ;
- des **exercices d'applications** de difficulté progressive.

... pour que les élèves accèdent à une **meilleure compréhension du monde** qui les entoure !

Pour l'enseignant
3 Activités documentaires

Activités documentaires

1 Fort comme un fakir

Capacité Mettre en évidence la relation entre la force pressante exercée sur une surface et la pression.

Objectif Quelle relation existe-t-il entre la pression et la surface d'appui ?

Le lit de clous, ou planche à clous, est une planche rectangulaire traversée de clous à intervalles réguliers. Les fakirs sont réputés pour ne pas ressentir la douleur lors d'une « méditation » sur cette planche, avec les clous en contact avec la peau.



» **Décharge** : lors de la décharge, l'accumulateur transforme spontanément l'énergie chimique en énergie électrique.

Exemple :

À la cathode (pôle +), il y a réduction du dioxyde de plomb de l'électrode :

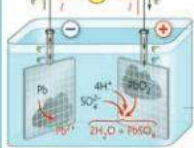
$$PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$$

À l'anode (pôle -), il y a oxydation du plomb :

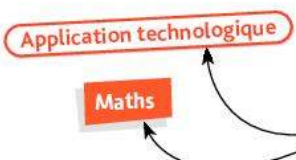
$$Pb + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4 + 2e^-$$

Énergie chimique → Accumulateur en décharge → Énergie électrique

Perles



Solution concentrée d'acide sulfurique



Abolir les frontières entre les matières

- » Sciences industrielles, Physique-Chimie et Mathématiques s'entremêlent pour expliquer et inventer la technologie de demain.
- » Dans cet ouvrage, nous avons cherché à tisser régulièrement des **liens entre les différentes matières** pour faciliter l'appropriation des connaissances des futurs étudiants.

Se préparer au baccalauréat

» Comme la Terminale est synonyme d'épreuve du baccalauréat, cet ouvrage présente de nombreux exercices résolus, exercices d'applications et des **conseils pour préparer sereinement les différentes épreuves**.

» Que ce soit pour l'**écrit** ou pour le **Grand oral**, diverses ressources ont été pensées pour faciliter le travail des futurs bacheliers et les conduire vers la réussite.

Vers le BAC

19 Pile à combustible du bus Fébus



Vers le grand oral

Dans le monde, près d'une personne sur 7 n'a pas accès à l'électricité. Comment l'énergie électrique est-elle distribuée selon les pays ? Renseignez-vous et expliquez les différences.

Les auteurs



Rabats de couverture

- Puissances sur la calculatrice
- Grandeurs et unités
- Schémathèque électrique
- Classification périodique de Mendeleiev
- Symboles de danger des produits chimiques

Dossier avenir 12

Mesure et incertitudes



Mesure et incertitudes 16

Énergie



L'énergie et ses enjeux 26

Activités documentaires	28
Activités expérimentales	30
Cours	32
Exercices	37
Vers le bac	42
Mini-projet d'application	43



L'oxydo-réduction 44

Activités documentaires	46
Activités expérimentales	48
Cours	50
Exercices	55
Vers le bac	60
Mini-projet d'application	61



L'énergie électrique 62

Activités documentaires	64
Activités expérimentales	66
Cours	68
Exercices	73
Vers le bac	78
Mini-projet d'application	79



Transport et distribution de l'énergie électrique 80

Activités documentaires	82
Activités expérimentales	84
Cours	86
Exercices	91
Vers le bac	96
Mini-projet d'application	97



L'énergie interne	98
Activités documentaires	100
Activités expérimentales	102
Cours	104
Exercices	109
Vers le bac	114
Mini-projet d'application	115



Forces et mouvement	116
Activités documentaires	118
Activités expérimentales	120
Cours	122
Exercices	127
Vers le bac	132
Mini-projet d'application	133



Mouvements de rotation	134
Activités documentaires	136
Activités expérimentales	138
Cours	140
Exercices	145
Vers le bac	150
Mini-projet d'application	151



L'énergie transportée par la lumière	152
Activités documentaires	154
Activités expérimentales	156
Cours	158
Exercices	163
Vers le bac	168
Mini-projet d'application	169

Matière et matériaux



La statique des fluides	170
Activités documentaires	172
Activités expérimentales	174
Cours	176
Exercices	180
Vers le bac	184
Mini-projet d'application	185



10

Les changements d'état 186

Activités documentaires	188
Activités expérimentales	190
Cours	192
Exercices	197
Vers le bac	202
Mini-projet d'application	203



11

L'énergie nucléaire 204

Activités documentaires	206
Activités expérimentales	208
Cours	210
Exercices	215
Vers le bac	220
Mini-projet d'application	221



12

Les réactions acido-basiques 222

Activités documentaires	224
Activités expérimentales	226
Cours	228
Exercices	233
Vers le bac	238
Mini-projet d'application	239

Ondes et signaux



13

Les ondes sonores 240

Activités documentaires	242
Activités expérimentales	244
Cours	246
Exercices	251
Vers le bac	256
Mini-projet d'application	257



14

Les ondes électromagnétiques 258

Activités documentaires	260
Activités expérimentales	262
Cours	264
Exercices	269
Vers le bac	274
Mini-projet d'application	275

Fiches méthode	276
1 Calculer une quantité de matière	276
2 Préparer une solution par dissolution	277
3 Préparer une solution par dilution	278
4 Convertir des unités	279
5 Effectuer une analyse dimensionnelle	280
6 Manipuler une expression littérale	281
7 Utiliser les fonctions usuelles	282
8 Effectuer un produit scalaire	285
9 Utiliser un tableur	286
10 Calculer des dérivées	288
11 Calculer des intégrales	289
12 Utiliser les relations de trigonométrie	290
13 Tracer des courbes graphiques avec Python	291
14 Utiliser un système Arduino	292
15 Utiliser le logiciel Audacity	294

Être prêt pour le BAC 296

Corrigés des questions flash et exercices* 300

*Les exercices corrigés sont signalés par un numéro sur fond rose.

Mesure et incertitudes

► Un chapitre dédié en début d'ouvrage

► **Mesure et incertitudes** Un questionnement au sein des chapitres lorsque cela s'y prête.

Lien avec les maths

► Retrouvez dans les chapitres les liens avec les mathématiques du programme, les rappels nécessaires et les activités Python.

Liens avec les maths

• Forme trigonométrique :
Module $\rho = \sqrt{a^2 + b^2}$.

Argument φ avec : $\cos \varphi = \frac{a}{\rho}$.

• Forme algébrique : $z = a + ib$.

Maths

Python

Mini-projets

- 1 Chauffer les habitats avec des combustibles ou à l'électricité ? 43
- 2 Comment réaliser un chargeur et testeur de batterie LiPo avec Arduino ? 61
- 3 Comment réaliser un adaptateur de batterie de téléphone alimenté par une dynamo de vélo ? 79
- 4 Comment réaliser un dispositif permettant de mesurer la puissance et l'énergie délivrées par une batterie en fonctionnement ? 97
- 5 Comment mesurer la résistance thermique d'un mur de la classe ? 115
- 6 Comment fabriquer une maquette du Nautille ? 133
- 7 Comment déterminer le couple moteur et le régime moteur d'un véhicule ? 151
- 8 Je suis en panne sur l'autoroute, puis-je demander de l'aide avec une de ces bornes à Strasbourg ? Et à Nice ? 169
- 9 Quels sont les effets physiologiques de la pression sur le corps humain, lors d'une plongée ? 185
- 10 Comment réaliser une isolation thermique avec des matériaux à changement de phase ? 203
- 11 Comment déterminer l'évolution de l'activité par m^3 d'un descendant du radon 222 : le polonium 218 ? 221
- 12 Comment traiter l'eau des piscines par électrolyse de l'eau salée ? 239
- 13 Comment corriger l'acoustique d'une pièce ? 257
- 14 Comment actionner une lampe à l'aide d'une liaison Bluetooth ? 275

Sommaire des pictos



Les QCM interactifs et auto-corrigés à retrouver dans le manuel numérique



Des liens vers des vidéos

CORRIGÉS p. 300-304

Les corrigés des questions flash et des exercices signalés ainsi **12**

Application technologique

Approche en lien avec la spécialité 212D



1h Temps nécessaire pour faire l'activité



Appel au professeur



Travail sur ordinateur ou application



Travail de groupe

Pour l'enseignant

Diaporama des questions flash

Des ressources enseignants à télécharger sur

www.hachette-education.com



Dans cet ouvrage, les ressources associées à ce QR code sont également accessibles à cette adresse lycee.hachette-education.com/pcsti2d/tle/

Ressources numériques



Retrouvez le meilleur du web et les vidéos sur-mesure conçues avec  !


Mesure et incertitudes

- Évaluer une incertitude avec plusieurs sources d'erreurs17
- Mesure et incertitudes de mesures20
- Calcul d'une incertitude de type B avec indication constructeur21

Chap 1

- Installation d'ombrières photovoltaïques27
- Les besoins énergétiques32

Chap 2

- Les batteries du futur45
- Fonctionnement détaillé d'une pile Daniell...50
-  Créer une pile électronique avec 2 gouttes de solutions ioniques50
- Fonctionnement d'une batterie : processus électrochimique51
- Présentation de la carte « Baby-Sitter »51

Chap 3

- Reportage : comment fonctionnent les voitures électriques ?63
- Voyage en électricité, Ép. 4 « L'alternatif »68


Chap 4

- Les chemins de l'électricité81
- Comment une centrale éolienne transforme la force du vent en électricité87
- Le transport de l'électricité88
- Résistance dans un fil96

Chap 5

- Reportage : une maison positive99
- Animation : conduction thermique106
- Animation : changement de température106
- Mesure du facteur U 115

Chap 6

- Appontage d'un rafale commenté117
-  Conservation (ou non) de l'énergie mécanique121
- Test des disques de Buggati124
- Marteau et plume en chute libre sur la Lune129

Chap 7

- Pourquoi y a-t-il un moulin à café sur les bateaux ?135
- Différence entre puissance et couple142


Chap 8

- L'énergie solaire photovoltaïque153


Chap 9

- Hémisphères de Magdebourg171
- Les états de l'eau176
- Le baromètre de Torricelli176
- Mise en évidence de la loi de Henry185
- Plongée sous-marine185


Chap 10

- Expérience avec l'hexafluorure de soufre187
- Les molécules d'eau – parties 1 et 2192
- Point triple193
-  Diagramme (p, T)193
- *Creating a Sun-Powered Death Ray*200


Chap 11

- Fonctionnement d'une centrale nucléaire - 1205
-  Émission radioactive et chambre à brouillard210
- Fonctionnement d'une centrale nucléaire - 2210
- Radioactivité alpha210
- Radioactivité bêta211
- Le radon221


Chap 12

- Les pluies acides223
-  Pluies acides et pH228
- Électrolyse du sulfate de zinc239

Chap 13

- Les harmoniques d'une note241
-  Protégez vos oreilles !246
- Les ondes246

Chap 14

- Reportage : Qu'est-ce qu'une antenne ?259
-  Qu'est-ce que la fibre ?259
- Qu'est-ce qu'une onde électromagnétique ?264
- Bluetooth : comment ça marche ?275

DOSSIER AVENIR



Retrouvez tous les liens du Dossier Avenir en flashant ce QR Code



Comment trouver un métier qui m'intéresse ?

Pas évident de s'orienter vers un domaine professionnel ou un métier ! Comment savoir ce qui vous motivera et vous permettra de valoriser vos compétences ? Voici quelques idées pour réfléchir !



Trouver le métier qui me ressemble !

Des quiz pour remuer des idées, se conforter dans ses choix, ou, au contraire, voir apparaître de nouvelles idées...

- Sur le site L'Étudiant : <http://bit.ly/2v5Pro8>
- Sur le site de l'Onisep : <http://bit.ly/31qNjd7>
- Sur le site Concepteurs d'avenir : <http://bit.ly/2SffVf4>



M'interroger sur ce que j'aime faire

Travailler en équipe ou être indépendant, bouger ou fonder quelque chose, décider, aider, communiquer ? À quels métiers ces verbes d'action peuvent-ils correspondre ?

- Sur le site de l'Onisep : <http://bit.ly/2Oq5ST4>



M'imaginer dans un domaine qui me passionne

Le commerce, le sport, la communication, la mode : sur quels métiers ces secteurs s'appuient-ils ?

- Sur le site de l'Onisep : <http://bit.ly/2OnU6Je>



Explorer les domaines qui m'intéressent

Faire des stages, échanger avec des professionnels dans votre entourage ou lors de salons étudiants : il est important de ne pas s'en tenir au « mythe » et d'aller voir de plus près les domaines qui peuvent vous intéresser.

- Un exemple : L'énergie, un secteur fait pour moi ? <https://bit.ly/2voqntm>

Le coin pratique

Financer ses études et trouver un logement

Décrocher une bonne formation est clairement une source de fierté et de motivation. Cependant, il faut aussi penser à régler l'aspect pratique de vos études et il est bon d'y réfléchir bien à l'avance !

● Financer ses études

→ Sur le site de l'Onisep : <http://bit.ly/2vMuRjX>

● Trouver un logement

→ Sur le site de l'Onisep : <http://bit.ly/2OmSoaQ>

La vie en entreprise, à quoi ça ressemble ?



Que savez-vous de l'entreprise et du monde du travail ?

Un quiz pour tester vos connaissances et débusquer vos idées reçues sur le monde de l'entreprise et du travail.

→ Sur le site de L'Onisep : <http://bit.ly/2RUBwum>

EN IMMERSION AVEC



Je viens bosser chez vous :

Une chaîne Youtube pour découvrir en immersion une multitude de professions !

→ <http://bit.ly/3bcfwm3>

1 Devenir technicien de maintenance éolien !

« Mon métier n'existait pas avant !
Aujourd'hui, ce sont des filières
d'avenir... »

Alexis (technicien de maintenance éolien)



2 Découvrir le métier de développeur informatique pour un laboratoire d'analyses de matériaux du bâtiment

« Découvrir de nouvelles technologies, essayer d'aller toujours plus loin dans ce qu'on peut faire avec la technique ! »

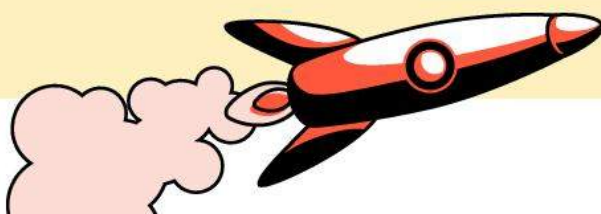
Benoît, M. Numérique, développeur informatique



3 Devenez un pro du développement web !

« Je suis content de venir tous les matins, on a toujours de la nouveauté ! »

Vincent, développeur web



Comment faire un bon choix de filière après le bac ?

Pour bien choisir une filière, il faut à la fois bien se connaître et bien connaître les filières qui composent les études supérieures.



Quelques questions essentielles à se poser

- Ai-je envie de faire des études courtes ou longues ?
Me sentir bien encadrée.e ou avoir plus de liberté ?
Découvrir rapidement le monde du travail
ou suivre un cursus universitaire plus théorique ?
- Quelles filières existent ?
Quelles sont leurs particularités ?
Quelles sont les modalités d'entrée ?

→ Sur le site de l'Onisep, quiz orientation :
<http://bit.ly/2vJJoWM>

→ Onisep : que faire avec mon BAC STI2D ?
<https://bit.ly/2ILInkc>



Quelques conseils pour faire le bon choix

- Faites parler vos proches et cherchez des témoignages sur internet : qui a fait quelle formation ?
Pour quel(s) métier(s) ensuite ?
- Participez à des salons et à des portes ouvertes :
que faut-il préparer avant la visite ?
- Comment prendre rendez-vous avec un.e conseiller.ère d'orientation, dans mon lycée, au CIO ou en ligne ?

→ Sur le site de l'Onisep :
<http://bit.ly/36YfZVU>

→ Calendrier des salons :
<http://bit.ly/31pnmo1>

→ Une assistance en ligne pour l'orientation (Onisep) :
<http://bit.ly/2Sg3pvV>



Ma première année en BTS et en IUT !

Deux formations à la fois pratiques et théoriques, permettant de découvrir le monde de l'entreprise.

Durée : 2 ans.

→ En BTS et DUT : <https://bit.ly/3cVRhtr>



Ma première année en école d'ingénieur !

Une centaine d'écoles d'ingénieurs accueillent les élèves après le bac pour les mener en 5 ans au diplôme d'ingénieur

→ <https://bit.ly/2INtFJq>



Ma première année en prépa !

Une formation intensive et très sélective, pour approfondir vos connaissances. Durée 2 ans.

→ En prépa : <https://bit.ly/2QdyOPa>

PARCOURSUP

comment je vais m'y prendre ?

Parcoursup, c'est la plateforme en ligne sur laquelle vous devrez établir la liste de vos vœux d'orientation. Vos bulletins et les appréciations de vos professeurs pourront être consultés par tous les responsables des formations auxquelles vous postulez.



Petit calendrier

- **De septembre à janvier :**
je me renseigne sur les formations disponibles et je peaufine mon projet d'orientation !
- **De janvier à avril :**
je continue de peaufiner mon projet, je formule mes vœux (dix au maximum, avec possibilité de sous-vœux pour certaines formations) et je finalise mon dossier.
- **De mai à juillet :**
je consulte les réponses et j'accepte celle qui me convient le mieux. Vous êtes sur liste d'attente ? Cela arrive à de très nombreux élèves et ne veut pas dire que vous ne serez pas pris.



Quelques conseils pour bien vous organiser !

- **Vous trouverez de très nombreuses ressources sur la plateforme Parcoursup.**
 - La carte des formations disponibles.
 - Le calendrier, y compris des journées portes ouvertes
 - Des contacts pour échanger avec des conseillers
 - Une description précise des formations et des critères de sélection
- **Prenez le temps de bien faire.**
Renseignez-vous et remplissez bien à l'avance vos dossiers en ligne, pour ne pas être pris.e par le temps et être deux fois plus angoissé.e. Posez des questions à vos professeurs et à vos proches, appelez les formations qui vous intéressent, déplacez-vous aux portes ouvertes.

→ La plateforme Parcoursup :
<http://www.parcoursup.fr>

Positivez !

Celui qui n'essaie pas ne commet jamais d'erreur...mais ne progresse jamais non plus !
Toutes les personnes que vous admirez et qui ont réussi ont commencé par oser...

- **Demandez de l'aide pour rédiger votre projet de formation motivé.**
Il s'agit d'une courte lettre de motivation à poster sur Parcoursup. Vous pouvez demander de l'aide à vos professeurs, à votre famille et consulter des sites Internet spécialisés.

Se préparer

et réviser les acquis de 1^{re}

Questions flash



CORRIGÉS p. 300-304

Pour chaque question, trouver la ou les bonnes réponses.

- 1 Le résultat d'une mesure de distance est $d = 12,10$ m, le nombre de chiffres significatifs est ...
 - a. 2.
 - b. 3.
 - c. 4.

- 2 Le résultat de la mesure $\Delta t = 0,023\ 0$ s est exprimé avec ...
 - a. 2 chiffres significatifs.
 - b. 3 chiffres significatifs.
 - c. 4 chiffres significatifs.

- 3 Le résultat de la mesure d'une distance peut être sous la forme ...
 - a. $D = 4$ m.
 - b. $D = 4,0 \pm 0,1$ m.
 - c. $D = 4 \pm 0,1$ m.

- 4 L'écriture de la tension mesurée $U = 5,0$ V signifie ...
 - a. $4,95\text{ V} \leq U \leq 5,05\text{ V}$.
 - b. $U = 5\text{ V}$.
 - c. $4,9\text{ V} \leq U \leq 5,1\text{ V}$.

- 5 Pour valider le résultat d'une mesure par rapport à une valeur de référence, il faut ...
 - a. que le résultat de la mesure et la valeur de référence soient identiques.
 - b. que la valeur de référence soit comprise dans un intervalle qui tient compte de l'incertitude-type de la mesure.
 - c. que l'arrondi du résultat de la mesure et la valeur de référence soient identiques.

- 6 Le résultat correct du calcul $4,17\text{ cm} + 3,4\text{ cm}$ est ...
 - a. 7,57 cm.
 - b. 7,6 cm.
 - c. 7,5 cm.

Capacités exigibles

- Faire des propositions pour améliorer un protocole de mesure.
- Utiliser un outil numérique pour évaluer une incertitude-type par une approche statistique (type A).

Activité 1

Activité 2

Mesure et incertitudes



Évaluer une incertitude avec plusieurs sources d'erreurs (3 min 40)



Mesurer est un acte expérimental essentiel dans l'industrie et d'une manière générale en science. Pour un expérimentateur, il ne s'agit pas seulement trouver une valeur, il lui faut également vérifier son protocole afin de ne pas introduire un biais qui invaliderait son travail.

Il doit donc trouver ses sources d'erreurs et les évaluer.

Cette évaluation chiffrée est appelée « incertitude de mesure ».



Liens avec les maths

- L'écart-type d'une série de mesures est étudié en classe de seconde.
- La fluctuation d'échantillonnage est abordée dans les programmes de mathématiques des enseignements communs.

Activités



- 1 Mesurer avec des ultrasons ?
- 2 Alors ça pendule ?

documentaire

expérimentale

1 Mesurer avec des ultrasons ?

ACTIVITÉ 1

Capacités

- Étudier la dispersion des mesures.
- Faire des propositions pour améliorer un protocole de mesure.

Objectif

Identifier des sources d'erreurs afin d'améliorer un protocole de mesure.

Dans cette activité, il s'agit d'étalonner un capteur. Un obstacle est placé précisément à 150,0 mm devant le module ultrason relié à une carte Arduino. Une étude statistique d'une série de mesures va permettre de déterminer la justesse et la fidélité du capteur et d'étudier la validité du mode opératoire utilisé.

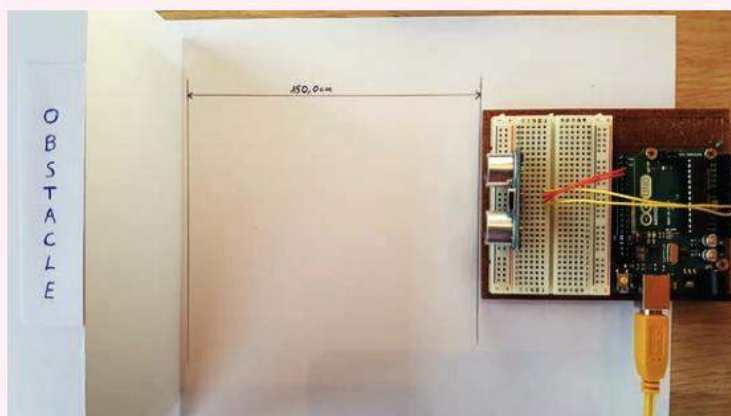
Un appareil est **juste** s'il donne la valeur attendue lors d'un étalonnage.

Un appareil est **fidèle** s'il donne des valeurs resserrées autour d'une même valeur moyenne.

$$\text{Écart relatif} = \frac{\text{écart absolu}}{\text{valeur de référence}}$$

Fiche méthode 14, p. 292.

DOC. 1 Montage.



DOC. 2 Capteur HC-SR04.

Caractéristiques

- Plage de mesure : 2 cm à 400 cm.
- Résolution* de la mesure : 0,3 cm.

*La résolution est la plus petite variation de valeur mesurable.



DOC. 3 Extrait des valeurs obtenues (272 au total).

n°	D (mm)	n°	D (mm)
1	153,11	6	154,36
2	154,36	7	154,36
3	150,11	8	154,19
4	150,11	9	154,19
5	155,38	10	154,19



DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **S'approprier** • **Réaliser** La moyenne \bar{D} de la série de mesures est égale à 154,6 mm. Évaluer l'écart absolu entre \bar{D} et la valeur de référence. En déduire l'écart relatif.

2 » **S'approprier** • **Analyser** Écrire le résultat de la mesure sous la forme $D = \text{valeur} \pm u(D)$ unité, en prenant la résolution de mesure comme incertitude type. L'appareil est-il juste ?

3 » **Analyser** L'écart-type est égal à 1,4 mm. Comparer l'écart-type à la résolution indiquée. L'appareil est-il fidèle ?

4 » **S'approprier** • **Valider** En observant les photos des doc. 1 et 2. Proposer des sources d'erreurs.

Conclusion

Comment faudrait-il modifier le mode opératoire ou le programme pour tenir compte de cette erreur systématique ?

Alors, ça pendule ? 2 h

Capacité

Utiliser un outil numérique pour évaluer une incertitude-type par une approche statistique (type A).

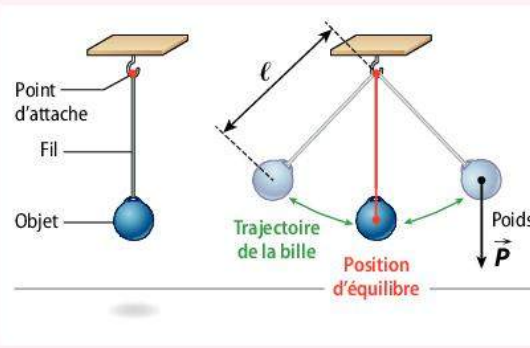
Objectif

Déterminer la période T d'un pendule simple de longueur ℓ le plus précisément possible.

Un pendule simple correspond à un objet attaché à un fil inextensible de masse négligeable.


DOC. 1 Période du pendule.

- La **période T** du pendule est la durée d'un aller-retour de l'objet suspendu.
- Elle dépend, en première approximation, uniquement de la distance (ℓ) entre le point d'attache du fil et le centre d'inertie de l'objet. On parle alors de la longueur ℓ du pendule.


MATÉRIEL

- Un pendule simple.
- Un chronomètre.
- Un ordinateur ou une calculatrice.

DOC. 2 Incertitude de type A.

On dispose d'une série de N valeurs de la grandeur T obtenues dans les mêmes conditions de répétabilité. Une étude statistique va permettre d'obtenir une mesure sous la forme : $T = \text{valeur} \pm u(\bar{T})$ unité.

- La **valeur retenue** correspond à la moyenne des N valeurs, notée \bar{T} .
- L'**incertitude-type** de la moyenne, notée $u(\bar{T})$ correspond à : $u(\bar{T}) = \frac{\sigma_{n-1}(T)}{\sqrt{N}}$ avec $\sigma_{n-1}(T)$, l'écart-type expérimental.

ÉTAPE 1 Obtention des mesures des différentes périodes

Expérience 1. Le déclenchement et l'arrêt du chronomètre se fait au point le plus bas.

Expérience 2. Le déclenchement et l'arrêt du chronomètre se fait lorsqu'il passe par un des deux points les plus hauts.

Expérience 3. Le déclenchement et l'arrêt du chronomètre se fait lorsqu'il passe par un des deux points les plus hauts.

1. Pour les expériences 1 et 2, écarter un peu le pendule de sa position d'équilibre. Lâcher, et chronométrer la durée d'un **aller-retour**. Effectuer dix mesures différentes. Noter les résultats dans un tableau.

2. Pour l'expérience 3, chronométrer la durée de **dix allers-retours**, en déduire la période T . Une série de cinq mesures suffira.

ÉTAPE 2 Exploitation des mesures

Pour les expériences 1 à 3 :

3. Calculer la moyenne et l'écart-type des valeurs obtenues.
4. Déterminer alors l'incertitude-type $u(\bar{T})$.
5. Présenter le résultat de la mesure sous la forme $T = \text{valeur} \pm u(\bar{T})$ unité.

Conclusion du TP

Quelles sont les recommandations à faire à un expérimentateur souhaitant faire des mesures les plus précises possibles ?



A Écriture du résultat d'une mesure

COURS

1 La mesure et son incertitude

- La **mesure** est le résultat d'une estimation de la valeur m d'une grandeur M accompagnée de son incertitude-type $u(M)$.
- Pour cela, l'expérimentateur utilise un protocole et des instruments de mesure.
- On exprime **généralement** la mesure comme ci-dessous :

$$M = m \pm u(M) \text{ unité}$$

Valeur mesurée
Unité à écrire

- Mais il existe d'**autres écritures** :

$$m - u(M) \leq M \leq m + u(M)$$

ou encore

$$M \in [m - u(M) ; m + u(M)]$$

Intervalle de confiance

Exemple : Lors d'une séance de travaux pratiques, la tension mesurée aux bornes d'une lampe est : $U = 2,7 \pm 0,4 \text{ V}$. Cela signifie qu'il y a 68 chances sur 100 que la valeur vraie de la tension U soit comprise dans l'intervalle $[2,7 - 0,4 ; 2,7 + 0,4]$ c'est-à-dire $U \in [2,3 \text{ V} ; 3,1 \text{ V}]$ ou encore $2,3 \text{ V} \leq U \leq 3,1 \text{ V}$.

Remarques

Il existe plusieurs causes aux erreurs de mesure :

- erreur de type aléatoire : sa valeur est différente à chaque mesure (le phénomène est fluctuant) ;
- erreur systématique : l'instrument de mesure est déréglé ou le protocole employé n'est pas adapté ou comporte un biais (corrigeable ou non).

2 Utilisation des chiffres significatifs

- Dans un nombre, les chiffres autres que les zéros placés en tête du nombre sont significatifs.

Exemple : Quels chiffres sont significatifs dans les mesures suivantes ?

- $U = 5,02 \text{ V}$, ce nombre a 3 chiffres significatifs.
- $L = 0,34 \text{ cm}$, ce nombre a 2 chiffres significatifs (le zéro à gauche de 3 ne compte pas).
- $t = 7,0 \text{ s}$, ce nombre a 2 chiffres significatifs (le zéro à droite de 7 indique une précision plus fine que $t = 7 \text{ s}$).

INFOS FLASH

Si on veut augmenter la probabilité (le niveau de confiance) que la mesure vraie appartienne à l'intervalle de confiance, il faut agrandir cet intervalle en multipliant par un entier k l'incertitude-type $u(M)$.

- Les niveaux de confiance les plus utilisés sont : 68 % ($k = 1$), 95 % ($k = 2$), 99 % ($k = 3$).
- Le niveau de confiance habituellement utilisé est de 95 %. Il y a 95 chances sur 100 pour que la valeur vraie de la grandeur mesurée soit dans l'intervalle $[m - 2u(M) ; m + 2u(M)]$.

- L'incertitude de mesure est arrondie par excès en utilisant **un seul chiffre significatif**.
- La dernière décimale de la valeur mesurée m et celle de l'incertitude $u(M)$ doivent correspondre à la même puissance de 10.

Exemples :

$U = (7,2 \pm 0,1) \text{ V}$	$I = (1,16 \pm 0,03) \text{ mA}$	$V = (3,2 \pm 0,3) \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
U est exprimée au dixième de volt comme l'incertitude.	I est exprimée au centième de mA comme l'incertitude.	V est exprimée au dixième comme l'incertitude, à noter qu'il faut multiplier par 10^2 ces deux valeurs.



- **Sans indication de précision** dans l'énoncé d'un exercice, **L'incertitude de la mesure** $u(M)$ est égale à la moitié du dernier chiffre significatif.

Exemple : La largeur L d'une boîte est mesurée avec deux règles graduées différemment :

→ Avec une règle graduée cm par cm, $L = 19$ cm signifie que $u(L) = \frac{1}{2}$ cm = 0,5 cm.

On peut aussi écrire : $L = 19,0 \pm 0,5$ cm ou encore $18,5 \text{ cm} \leq L \leq 19,5 \text{ cm}$.

→ Avec une règle graduée mm par mm, $L = 19,0$ cm signifie que $u(L) = \frac{0,1}{2}$ cm = 0,05 cm.

On peut aussi écrire : $L = 19,00 \pm 0,05$ cm ou encore $18,95 \text{ cm} \leq L \leq 19,05 \text{ cm}$.

- La **notation scientifique** peut aider à comprendre la notion de chiffres significatifs.
- Elle consiste à exprimer un nombre sous la forme : $a \times 10^b$ avec $1 \leq a < 10$ et b un entier relatif différent de zéro.

Exemples :

- La notation scientifique de 76 567 est $7,6567 \times 10^4$.
On compte cinq chiffres significatifs.
- La notation scientifique de 0,004 50 est $4,50 \times 10^{-3}$.
On compte trois chiffres significatifs.

B Les incertitudes de mesures ou l'incertitude-type $u(M)$

- Suivant la façon dont a été obtenue une mesure M , son incertitude-type $u(M)$ ne se détermine pas de la même façon.

Type A	Type B
Si on a mesuré un grand nombre de fois la même grandeur dans les mêmes conditions alors des calculs s'appuyant sur des notions de statistiques permettent d'évaluer l'incertitude de type A.	Si une seule mesure de la grandeur a été faite, les caractéristiques du matériel permettent d'évaluer l'incertitude de type B.

1 L'incertitude de type A


- On dispose d'une série de N valeurs d'une grandeur M obtenues dans les mêmes conditions de répétabilité. On utilise alors une méthode statistique :
- La **valeur retenue** par l'expérimentateur est la moyenne des N valeurs, notée \bar{M} .
- L'**incertitude-type** de la moyenne, notée $u(\bar{M})$ où u correspond à l'écart-type expérimental $\sigma_{n-1}(M)$ divisé par \sqrt{N} :

$$u(\bar{M}) = \frac{\sigma_{n-1}(M)}{\sqrt{N}}$$




2 L'incertitude de type B

- Pour chaque étape de mesure, on détermine l'incertitude de celle-ci, cette incertitude est principalement liée à la qualité :
 - de l'instrument utilisé ;
 - de la lecture par l'expérimentateur.
- La **valeur retenue** par l'expérimentateur est la valeur affichée par l'instrument ;
- L'**incertitude-type**, notée u dépend de l'instrument utilisé et de la lecture.



Incertitude liée à la qualité de l'appareil/instrument		Calcul de u
Affichage numérique sans indication particulière : (balance, multimètre, etc.)		Si la résolution est notée r (valeur la plus petite affichable ou plus petite variation détectable) : $u = \frac{r}{\sqrt{12}}$
Indications présentes sur l'appareil ou dans sa notice d'utilisation (multimètre, burette, pipette, etc.)	Tolérance $\pm a$	$u = \frac{a}{\sqrt{3}}$
	Précision $\times \%$	$u = \frac{\text{valeur lue} \times \%}{\sqrt{3}}$
	Précision ($\times \% + n \times \text{digit}$)	$u = \frac{\text{valeur lue} \times \% + n \times \text{digit}}{\sqrt{3}}$ n est le nombre de digits. La valeur d'un digit est égale à une unité du dernier chiffre affiché. Exemple : pour 12,45 V, il y a 4 digits et 1 digit = 0,01V.

Exemple : Le multimètre indique la tension à vide d'une pile : $E = 1,29$ V. La résolution r est 0,01 V, l'incertitude-type est égale à $u(L) = \frac{0,01}{\sqrt{12}} = 0,003$ V. D'où $E = 1,290 \pm 0,003$ V.

Incertitude lors de la lecture par l'observateur	Calcul de u
Simple lecture sur graduation (thermomètre, éprouvette graduée, ...)	 Simple erreur de lecture $u = \frac{\text{une graduation}}{\sqrt{12}}$
Double lecture sur graduation (règle, pipette graduée, ...)	 Double erreur de lecture $u = \sqrt{2} \times \frac{\text{une graduation}}{\sqrt{12}}$
Pour un résultat identique, un écart entre deux valeurs extrêmes est constaté : $x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$	 $u = \frac{a}{\sqrt{3}} \text{ avec } a = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}$

Exemple : La mesure de la boîte indique $L = 20$ cm, le mètre enrouleur est gradué au mm. L'incertitude-type est égale à $u(L) = \sqrt{2} \times \frac{1 \text{ mm}}{\sqrt{12}} = 0,04$ mm (double erreur de lecture). D'où $L = 20,0 \pm 0,4$ cm.

C Les incertitudes-types de mesure dans les calculs

- Souvent mesurer une grandeur M correspond à mesurer les variables (x, y, z, \dots) dont elle dépend, puis à utiliser une relation mathématique qui les relie : $M = f(x, y, z, \dots)$.
- Si $M = x + y + z + \dots$ alors $u^2(M) = u^2(x) + u^2(y) + u^2(z) + \dots$

Exemple : Si $D = d_1 + d_2$ alors $u^2(D) = u^2(d_1) + u^2(d_2)$.

→ Si $M = \frac{x \cdot y^2}{z}$ alors $\left(\frac{u(M)}{M}\right)^2 = \left(\frac{u(x)}{x}\right)^2 + \left(2 \times \frac{u(y)}{y}\right)^2 + \left(\frac{u(z)}{z}\right)^2$

Exemple : Si $F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_x \cdot v^2$ avec $\rho = \text{constante}$ alors $\left(\frac{u(F)}{F}\right)^2 = \left(\frac{u(S)}{S}\right)^2 + \left(\frac{u(C_x)}{C_x}\right)^2 + \left(2 \times \frac{u(v)}{v}\right)^2$

- Si $M = ax + b$ (avec a et b des constantes et x la variable), alors $u(M) = a \cdot u(x)$.

Exemple : Si $x = 9,8 \times t + 4$ alors $u(x) = 9,8 \times u(t)$

Questions flash  : Pour chaque question, trouver la ou les bonne(s) réponse(s).



CORRIGÉS p. 300-304

- 1** Dans l'écriture $I = 0,005\ 6\ \text{mA}$, le nombre de chiffres significatifs utilisés est ...
- 5.
 - 2.
 - 4.

- 2** Dans l'écriture $U = 4,70 \times 10^2\ \text{mV}$, le nombre de chiffres significatifs utilisés est ...
- 3.
 - 2.
 - 5.

- 3** La présentation d'une mesure est $L = 3,2\ \text{m}$ sans plus de précision. La valeur L appartient à l'intervalle ...
- $[3,15\ \text{m} ; 3,25\ \text{m}]$.
 - $[3,1\ \text{m} ; 3,3\ \text{m}]$.
 - $[3,10\ \text{m} ; 3,20\ \text{m}]$.

- 4** La présentation d'une mesure est $P = (3,23 \pm 0,16)\ \text{W}$. La valeur P appartient à l'intervalle ...
- $[3,07\ \text{m} ; 3,39\ \text{m}]$.
 - $[3,15\ \text{m} ; 3,31\ \text{m}]$.
 - $[3,1\ \text{m} ; 3,4\ \text{m}]$.

- 5** La conversion correcte de $\Delta t = 250\ \text{ms}$ est ...
- $250\ \text{ms} = 2,5 \times 10^2\ \text{ms}$.
 - $250\ \text{ms} = 2,50 \times 10^2\ \text{ms}$.
 - $250\ \text{ms} = 2,50 \times 10^5\ \mu\text{s}$.

- 6** La présentation d'une mesure est $V = 1,7\ \text{m}^3$, cela signifie que ...
- $u(V) = 0,1\ \text{m}^3$.
 - $V \in [1,65\ \text{m}^3 ; 1,75\ \text{m}^3]$.
 - $1,65\ \text{m}^3 \leq V \leq 1,75\ \text{m}^3$.

Vrai ou Faux ? Pour chaque proposition, déterminer si elle est vraie ou fausse.

- Présenter une incertitude ne se fait que lorsqu'on n'est pas sûr de la mesure.
- On ne doit utiliser au maximum que deux chiffres significatifs.
- L'évaluation de l'incertitude de mesure est indépendante du mode opératoire utilisé.
- Les chiffres significatifs correspondent au nombre de décimales utilisées.
- L'incertitude de type A correspond à une mesure unique.
- Le nombre de chiffres significatifs ne dépend pas de l'unité utilisée pour présenter le résultat.



1 Vous avez dit : chiffres significatifs ?

Déterminer l'intervalle de confiance pour les valeurs suivantes :

1. $L = 5$ m. 2. $L = 4,0$ m. 3. $L = 17,30$ m.



2 La notation scientifique

Les nombres rencontrés sont parfois très petits ou au contraire très grands. La notation scientifique permet d'écrire ces nombres en utilisant peu de symboles (chiffres, lettres).

DOC. La notation scientifique.

La notation scientifique consiste à exprimer un nombre sous la forme : $a \times 10^b$ avec $1 \leq a < 10$ et b un entier relatif différent de zéro.

Écrire chaque nombre en utilisant la notation scientifique et en tenant compte des chiffres significatifs.

- 76 567
- 0,000 450
- 4 634,86
- 0,000 000 000 000 000 012 570 0
- 89 000

3 Les chiffres significatifs et les quatre opérations

Effectuer les calculs suivants en tenant compte des chiffres significatifs :

- $\Delta t = 3,42$ s + $0,7$ s.
- $\Delta t = 103,037$ s - $0,52$ s.
- $S = 7,2$ m \times $1,43$ m.
- $v = 9,25$ m / $4,0$ s.

4 Quelle est la bonne valeur ? Maths

Huit groupes en séances de travaux pratiques ont mesuré la largeur de la salle de classe. Ils ont obtenu la série de mesures suivante :

longueur L (en m) :

5,1 ; 4,9 ; 4,7 ; 5,5 ; 6,0 ; 4,8 ; 5,9 ; 5,2.

- Entrer les valeurs dans le menu statistiques de la calculatrice.
- Calculer la valeur moyenne \bar{L} , l'écart-type expérimental σ_{n-1} pour cette série de mesures.
- Calculer l'incertitude-type de mesure notée $u(\bar{L})$.
- Présenter le résultat sous la forme : $L = \bar{L} \pm u(\bar{L})$.

5 Mesurer une vitesse dans les règles de l'art !

Lors d'une expérience, il s'agit de déterminer la vitesse v d'un objet. Pour cela, on a mesuré la distance $D = 6,5$ m à l'aide d'un mètre ruban gradué au mm et la durée $\Delta t = 3,12$ s du parcours à l'aide d'un chronomètre qui utilise un affichage de 4 digits (la notice indique « 0,1 % + 2 Digits »).

Le but de l'exercice est de présenter une mesure de la vitesse qui tient compte de la précision des instruments de mesure utilisés.

- Calculer la valeur de la vitesse v sans tenir compte des chiffres significatifs.
- Calculer les incertitudes-types $u(D)$ et $u(\Delta t)$ (se référer à la page 22 du livre).
- En utilisant la relation :

$$\left(\frac{u(v)}{v}\right)^2 = \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta t)}{\Delta t}\right)^2$$

calculer l'incertitude-type $u(v)$.

- Présenter le résultat sous la forme :

$$v = \text{valeur} \pm u(v).$$

6 La mesure du pH

Le traitement et le rejet des eaux usées nécessitent de contrôler le pH de celles-ci. Des acides puissants tels que l'acide sulfurique sont couramment utilisés dans de nombreuses installations. Ces acides se révèlent dangereux à manipuler et à stocker. Ils nécessitent aussi l'emploi d'un matériel complexe.

Un procédé beaucoup plus écologique et bien moins dangereux existe : la diffusion directement dans l'eau d'un gaz courant : le dioxyde de carbone de formule CO_2 . Le débit du gaz est réglé en temps réel en mesurant le pH de l'eau.

DOC. **Caractéristiques techniques du pH-mètre.**

- Gamme : 0 à 14 u.pH (unité pH)
- Précision : $\pm 0,1$ u.pH
- Résolution : 0,1 u.pH
- Étalonnage : en 2 points par potentiomètres (pH 7 et 14)
- Dimensions : 100 × 100 × 40 mm
- Alimentation : 1 pile 9V type 6F22

Pour être autorisée à rejeter ses eaux usées dans le réseau d'égout pluvial, une entreprise travaillant dans le textile s'engage à ne rejeter que des eaux dont le pH est entre 5,5 et 8,5.

Lors d'un contrôle, un technicien indépendant a mesuré un pH de 6,7. Il souhaite consulter la notice de la sonde de pH utilisée dans le système afin d'estimer l'incertitude de mesure et ainsi déterminer si l'entreprise est en règle.



1. Calculer l'incertitude-type u_1 liée à la précision du pH-mètre.
2. Calculer l'incertitude-type u_2 liée à la résolution du pH-mètre.
3. En déduire l'incertitude-type $u(\text{pH})$ de la mesure.
4. Présenter la mesure sous la forme :
$$\text{pH} = \text{valeur} \pm u(\text{pH}).$$
5. Quel est l'intervalle de confiance de cette mesure ? L'eau usée peut-elle être rejetée ainsi ?

7 La mesure d'une pression

Les températures de changements d'états dépendent de la température. Lors d'une expérience étudiant la température d'ébullition de l'eau en fonction de la température, les valeurs suivantes ont été relevées :

θ_{eb} (°C)	59	50	40	31
P (hPa)	177	115	71	42

On s'intéresse à la fiabilité des valeurs indiquées par le manomètre et plus particulièrement à celle indiquée pour une température de 50 °C.

DOC. **Caractéristiques techniques du manomètre.**

- Gamme : 200 hPa et 2 000 hPa
- Résolution : 1 hPa
- Précision : $\pm 2\% \pm 4$ hPa
- Pression maximale : 4 000 hPa
- Limite d'utilisation : gaz non corrosifs
- Dimensions : 95 × 123 × 44 mm

1. Calculer l'incertitude-type u_1 liée à la précision du manomètre.
2. Calculer l'incertitude-type u_2 liée à la résolution du manomètre.
3. En déduire l'incertitude-type $u(P)$ de la mesure.
4. Présenter la mesure sous la forme :
$$P = \text{valeur} \pm u(P).$$
5. Quel est l'intervalle de confiance de cette mesure ?

8 Contrôle des dimensions d'une pièce

Le service de contrôle est un département clé dans une usine de production. Un employé contrôle le diamètre d'une pièce qui vient d'être usinée. Ce pied à coulisse électronique mesure en millimètres.

DOC. **Mesure de la pièce qui vient d'être usinée.**



1. Quel est le diamètre D de cette pièce ?
2. Quelle la résolution r de cet appareil de mesure ?
3. En déduire l'incertitude-type $u(D)$ en considérant qu'aucune indication particulière n'est donnée (se référer à la page 22 du livre).
4. Présenter le résultat de la mesure sous la forme :
$$D = \text{valeur} \pm u(D).$$

Se préparer et réviser les acquis de 1^{re}

Pour l'enseignant

↓ Diaporama des questions flash

1

Questions flash



CORRIGÉS p. 300-304

Pour chaque question, trouver la ou les bonnes réponses.

1 L'énergie est une grandeur physique qui peut s'exprimer en ...

- a. kilowattheure (kW·h).
- b. joule (J).
- c. watt (W).

2 L'énergie E consommée par une ampoule de puissance $P = 20$ W allumée pendant une durée $\Delta t = 2$ h vaut ...

- a. $E = P \cdot \Delta t = 20 \text{ W} \times 2 \text{ h} = 40 \text{ W} \cdot \text{h}$.
- b. $E = \frac{P}{\Delta t} = \frac{20 \text{ W}}{2 \text{ h}} = 10 \text{ W/h}$.
- c. $E = P \cdot \Delta t = 20 \text{ W} \times 2 \times 3\,600 \text{ s} = 1,44 \times 10^5 \text{ J}$.

3 Un moteur électrique est un convertisseur ...

- a. d'énergie électrique en énergie thermique et chimique.
- b. d'énergie mécanique en énergie électrique et chimique.
- c. d'énergie électrique en énergie mécanique et thermique.

4 Le rendement η d'un panneau solaire photovoltaïque peut s'écrire ...

- a. $\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{absorbée}}} = 10 \%$.
- b. $\eta = \frac{P_{\text{absorbée}}}{P_{\text{utile}}} = 10 \%$.
- c. $\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{absorbée}}} = 0,10$.
- d. $\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{absorbée}}} = 1,10$.

5 L'énergie utile dans un moteur électrique est ...

- a. l'énergie thermique.
- b. l'énergie mécanique.
- c. l'énergie électrique.

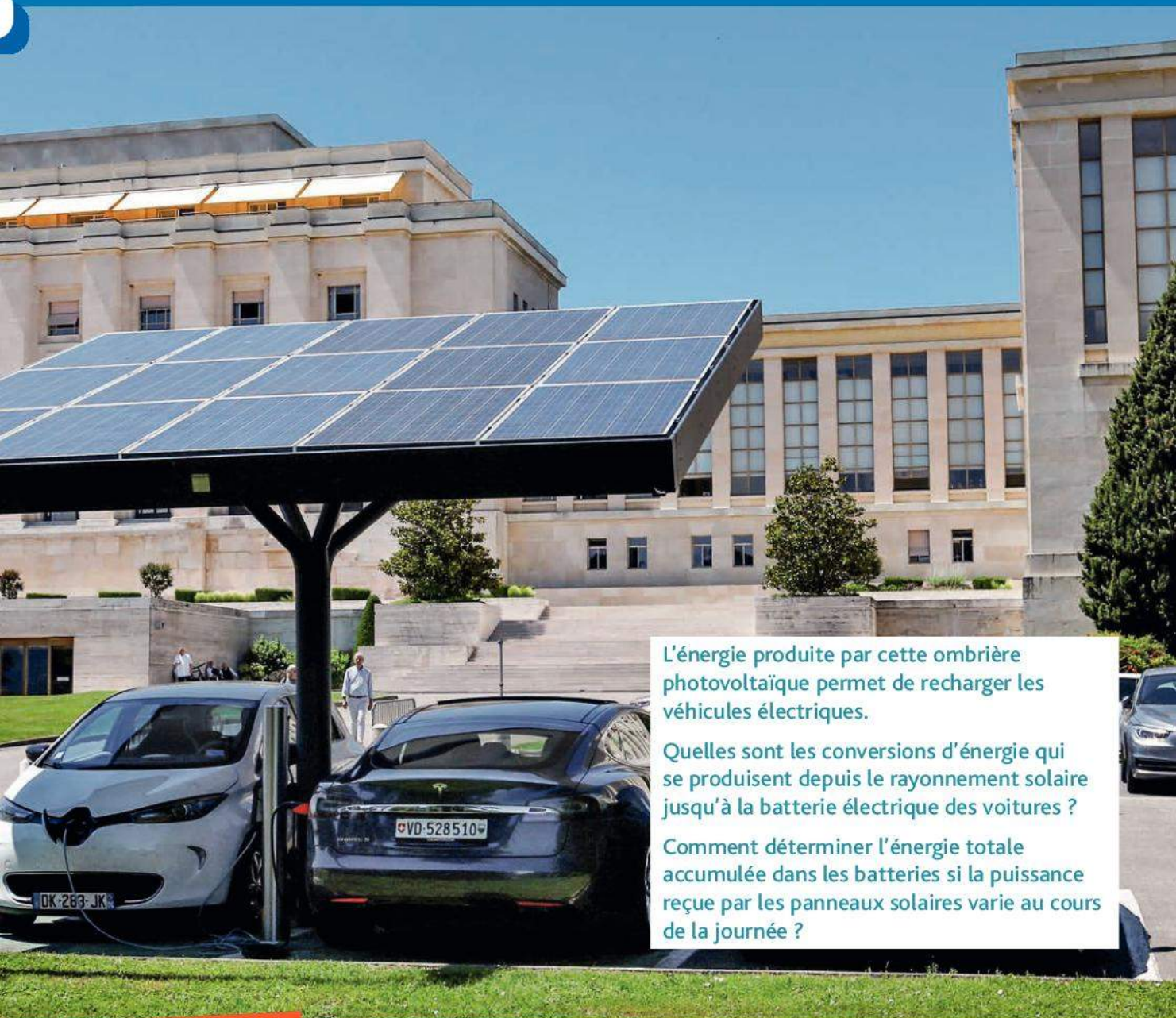
Capacités exigibles

- Déterminer l'énergie mise en jeu à partir de la puissance (en fonction du temps). **Activité 1**
- Estimer la durée de fonctionnement d'un système autonome. **Activité 2**
- Utiliser un outil numérique pour calculer les valeurs de la puissance d'un système à partir de l'énergie mise en jeu au cours du temps et inversement. **Activité 3**
- Calculer le rendement d'une conversion ou d'un transfert d'énergie. **Activité 4**

L'énergie et ses enjeux



Installation d'ombrières photovoltaïques (2 min 16)



L'énergie produite par cette ombrière photovoltaïque permet de recharger les véhicules électriques.

Quelles sont les conversions d'énergie qui se produisent depuis le rayonnement solaire jusqu'à la batterie électrique des voitures ?

Comment déterminer l'énergie totale accumulée dans les batteries si la puissance reçue par les panneaux solaires varie au cours de la journée ?

Liens avec les maths

- Nombre dérivé, fonction dérivée. **Exercice** 9
- Lecture et exploitation de courbes. **Activité** 1
Exercices 11 14 17
- Intégrale et aire sous une courbe. **Activité** 1
Exercice 17

Activités



- 1 Un test en vol pour éviter la panne
- 2 Piles ou batteries ?
- 3 Évaluer le niveau d'un cycliste à l'aide de données GPS
- 4 Comment améliorer le rendement d'un procédé de chauffage ?

documentaire

documentaire

expérimentale

expérimentale

Un test en vol pour éviter la panne

Capacité

Déterminer l'énergie mise en jeu par un système pendant un intervalle de temps donné à partir de la courbe représentant la puissance en fonction du temps.

Objectif

Évaluer l'énergie consommée par la batterie d'un drone pendant un test en vol.



Lena souhaite tester la batterie alimentant les 4 moteurs du drone qu'elle vient de recevoir. Elle a chargé complètement la batterie et elle procède à un vol test de quelques dizaines de secondes. Un capteur connecté enregistre l'intensité du courant électrique débité par la batterie pendant la séance de test.

DOC. 1 Caractéristiques de la batterie utilisée.

- Tension nominale : $U = 7,4 \text{ V}$.
- Capacité : $2\,000 \text{ mA}\cdot\text{h}$ ($\text{A}\cdot\text{h}$ signifie Ampère \times heure) ; la batterie a donc la capacité de débiter un courant électrique de 2 A pendant 1 h ou de 4 A pendant $0,5 \text{ h}$...

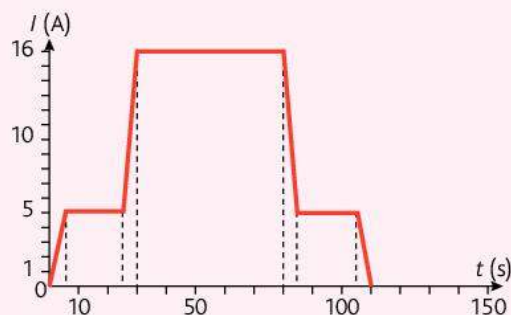


Liens avec les maths

Intégrale et aire sous une courbe.

DOC. 2 Chronologie de la phase de test.

Évolution de l'intensité du courant électrique fourni par la batterie aux 4 moteurs pendant la séance de test.



Étapes du test	1. Mise en route des moteurs	2. Attente au sol	3. Décollage	4. Vol stationnaire	5. Atterrissage	6. Attente au sol	7. Arrêt des moteurs
Durée Δt (en s)	5	20	5				
E_{elec} (en kJ)	0,09			5,76			
E_{elec} totale (en kJ)							

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **Analyser** • **Réaliser** Exprimer la puissance électrique P délivrée par la batterie en fonction de la tension nominale (supposée constante) et de l'intensité I du courant électrique. Tracer alors, en s'aidant du doc. 2, la représentation graphique $P = f(t)$.

2 » **Analyser** • **Réaliser** Retrouver la valeur de $5,76 \text{ kJ}$ de l'énergie électrique délivrée par la batterie pendant la phase de vol stationnaire.

3 » **Analyser** Montrer que le calcul précédent de l'énergie revient à déterminer l'aire sous la courbe $P = f(t)$.

4 » **Analyser** • **Réaliser** Calculer alors les autres énergies électriques et compléter le tableau du doc. 2.

Conclusion

Vérifier que la phase de test n'a consommé que 15 % de l'énergie stockée dans la batterie.

2 Piles ou batteries ?

ACTIVITÉ

Capacité Estimer la durée de fonctionnement d'un système autonome.

Objectif Justifier l'utilisation d'une batterie plutôt que des piles dans un iPhone.

Selon une étude française réalisée par le spécialiste du stockage de données Atos avec la start-up nantaise Greenspector, c'est l'application Tik Tok qui est la plus énergivore. Le réseau social, qui fait un carton chez les adolescents, épuise la batterie deux fois plus vite que la moyenne des 35 applications testées dans le cadre de l'étude.



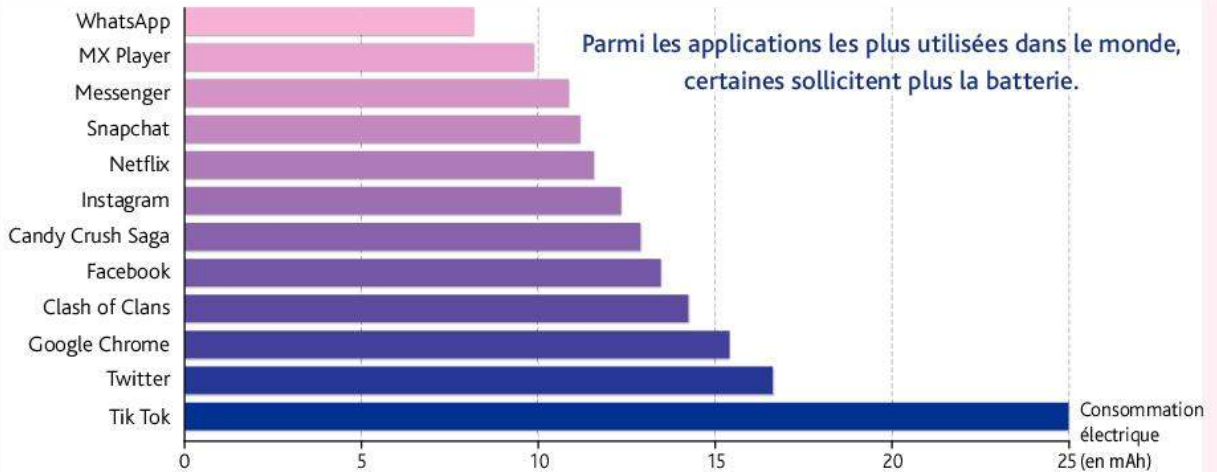
DOC. 1 Indications lues sur la batterie d'un iPhone XR.

Li-ion Battery
3.79V.....11,16Whr
APN:616-00471

DOC. 2 Capacité d'une batterie.

La capacité d'une batterie est la quantité d'énergie électrique qu'elle est capable de restituer après avoir reçu une charge complète. Elle s'exprime usuellement en ampères-heures (A·h). 1 A·h correspond à un courant d'intensité 1 A débité pendant 1 heure.

DOC. 3 Consommation électrique d'applications pour téléphone.



DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **S'approprier** Que valent, d'après le doc. 1, la tension U délivrée par la batterie ainsi que l'énergie E stockée ?

2 » **Analyser** La tension U s'exprime en V, l'énergie E en Wh et la capacité Q de la batterie en A·h d'après le doc. 3. À l'aide d'une analyse dimensionnelle (voir page 280), exprimer E en fonction de Q et U .

3 » **Réaliser** Déduire de la question précédente la capacité de la batterie d'un iPhone XR.

4 » **S'approprier - Analyser**
Combien de jours un adolescent pourrait-il utiliser son iPhone avant la décharge totale de la batterie s'il utilisait l'application Tik Tok en continu ?

5 » **Analyser** On pourrait envisager d'alimenter le téléphone avec 3 piles LR3 de capacité 1 250 mA·h chacune. Combien de temps l'adolescent précédent pourrait-il alors utiliser son iPhone ?

Conclusion

Quel est alors l'intérêt d'une batterie par rapport à des piles classiques ?

Évaluer le niveau d'un cycliste à l'aide de données GPS


Capacité

Utiliser un outil numérique pour calculer les valeurs de la puissance d'un système à partir d'un tableau de valeurs.



Objectif du TP Déterminer la puissance développée par un cycliste.

Lors d'une sortie dans un col, un(e) cycliste, de masse 75 kg vélo compris, a enregistré ses données GPS. Il (ou elle) souhaite savoir quelle puissance il (ou elle) a développée au cours d'une partie de sa sortie.

MATÉRIEL

- Fichier de données dans un tableur.
- Ordinateur + tableur-grapheur

DOC. 1 Smartphone et entraînement sportif.

Les données recueillies peuvent être utilisées pour suivre un programme d'entraînement sportif.



Capture d'écran sur www.velohero.com

DOC. 2 Puissance de la force de frottement.

- Les forces s'opposant à la progression du système {cycliste + vélo} sont le poids et les frottements de l'air.
- La puissance de la force de frottement a pour expression : $P_2 = 0,26 \times v^3$ avec v vitesse du système en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

DOC. 3 Puissance fournie pour un sportif.

Tableau de puissance massique pour un effort prolongé (en $\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Femme	Homme
Classe mondiale	5,00 à 5,70	5,75 à 6,50
bon	3,00 à 3,49	3,50 à 4,09
moyen	2,50 à 2,99	2,90 à 3,49

ÉTAPE 1 Des graphes pour comprendre

À l'aide des données présentes dans le fichier téléchargé.

1. Construire le graphique montrant l'évolution de l'altitude z en fonction du temps. De même construire le graphique montrant l'évolution de la vitesse v (en km/h) en fonction du temps.

ÉTAPE 2 Calcul de la distance parcourue

2. Calculer la vitesse moyenne pendant cette ascension ainsi que sa durée. En déduire la distance parcourue par le cycliste.

ÉTAPE 3 Évolution de la puissance P_1 du poids

3. Construire le graphique montrant la puissance P_1 utilisée pour gagner de l'altitude : $P_1 = \frac{E_{pp}(t + \Delta t) - E_{pp}(t)}{\Delta t}$.

ÉTAPE 4 Évolution de la puissance P_2 des frottements

4. Construire le graphique montrant l'évolution de la puissance P_2 des forces de frottement de l'air en fonction du temps.

Aide

L'énergie potentielle de pesanteur emmagasinée par un objet de masse m et situé à l'altitude z a pour expression : $E_{pp} = m \cdot g \cdot z$.

Conclusion du TP

En expliquant ce que représente la grandeur $P_1 + P_2$ et en considérant que le vélo pèse 10 kg, déterminer dans quelle catégorie on peut placer ce cycliste suivant si c'est une femme ou un homme.

Comment améliorer le rendement d'un procédé de chauffage ?



Capacité

Proposer, puis réaliser un protocole expérimental.

Objectif du TP

Chauffer 100 mL d'eau en réduisant au maximum les pertes.

Après une belle journée d'escalade, un bivouac au cœur de la montagne s'impose. Pour avoir une bonne boisson chaude, les bougies chauffe-plat en paraffine blanche sont très pratiques à utiliser.

Leur combustion permet de chauffer les aliments contenus dans un récipient. Toutefois, leurs dimensions réduites ne permettent pas un chauffage optimal.



Données

- Variation d'énergie interne U d'un corps dont on augmente la température sans changement d'état :

$$\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta \theta$$

avec ΔU en (J), m masse en (g), c capacité thermique massique en ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) et $\Delta \theta$ ($^\circ\text{C}$).

- Capacités thermiques massiques de l'eau et de l'aluminium :

$$c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \text{ et } c_{\text{aluminium}} = 0,92 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

- Énergie libérée E_{lib} pour une masse m_{comb} de combustible ayant brûlé :

$$E_{\text{lib}} = m_{\text{comb}} \cdot \text{PC}$$

avec E_{lib} en (J), m_{comb} en (g), pouvoir calorifique PC en ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$).

- Pouvoir calorifique de la paraffine : $\text{PC} = 46 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$.

MATÉRIEL

- Une canette (acier ou aluminium) et un support.
- Un matériau isolant (une feuille d'aluminium) pour entourer la canette.
- Une bougie.
- Un capteur de température.
- Un bécher de 250 mL.
- Une balance de pesée à 0,01 g.

ÉTAPE 1 La canette n'est pas isolée thermiquement

1. Faire un schéma de l'expérience. Expliquer en quelques phrases comment procéder au chauffage de 100 g d'eau.
2. Le rendement η du chauffage du système {eau + canette} peut être défini ainsi :

$$\eta = \frac{\text{Énergie stockée par le système chauffé}}{\text{Énergie libérée par la combustion}}$$

Proposer un protocole permettant de déterminer, à l'aide des mesures adéquates :

- l'énergie stockée par le système chauffé correspondant à la variation d'énergie interne ΔU_{sys} du système {eau + canette}, avec $\Delta U_{\text{sys}} = \Delta U_{\text{eau}} + \Delta U_{\text{canette}}$;
- l'énergie libérée E_{lib} sous forme thermique par la bougie.

On précisera dans le protocole les mesures des grandeurs utiles (masses, températures).

Appeler l'enseignant pour vérifier le protocole.

3. Effectuer l'expérience et les mesures adéquates.
4. Calculer le rendement, puis l'exprimer sous forme de pourcentage. Interpréter cette valeur.

ÉTAPE 2 La canette est isolée thermiquement

5. Réaliser le même protocole qu'à l'étape 1, avec la canette entourée par l'isolant thermique.
6. Déterminer le nouveau rendement du chauffage du système {eau + canette}.

Conclusion du TP

L'utilisation d'un isolant réduit-elle les pertes pour ce type de chauffage ?

A L'énergie

COURS

1 Les différentes formes d'énergie

- Les besoins énergétiques mondiaux ne cessent de croître. Il ne faut toutefois pas confondre les sources d'énergie dont on parle au niveau **industriel et économique** et les formes d'énergie dont on parle en **physique et en chimie**.

Lien vidéo **Les besoins énergétiques (3 min 31)**

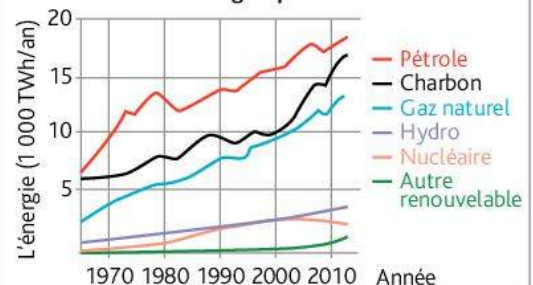
Forme d'énergie	Quelques exemples et modélisations
Énergie rayonnante 	Elle est transportée par les ondes électromagnétiques (rayonnements) notamment la lumière visible ou l'infrarouge, etc. $E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$
Énergie mécanique $E_m = E_c + E_p$ somme des énergies cinétiques et potentielles 	Énergie cinétique de translation : $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ Énergie potentielle de pesanteur : $E_{pp} = m \cdot g \cdot z + Cte$
Énergie thermique 	Elle correspond principalement à l'agitation des atomes et molécules. Elle augmente quand la température augmente ou que le corps considéré change d'état.
Énergie chimique 	Elle est stockée au cœur de la matière, dans les liaisons entre les atomes. Elle est présente dans les sources d'énergies fossiles, dans les batteries. Les réactions chimiques permettent de l'utiliser.
Énergie nucléaire 	Elle est stockée au cœur des atomes, dans les noyaux. Elle peut être utilisée au moyen de la fission nucléaire ou de la fusion nucléaire.
Énergie électrique 	Elle est due au transfert de charges électriques (électrons, ions). En régime continu, l'énergie consommée par un appareil soumis à une tension U et parcouru par un courant I pendant Δt est égale à : $E_{elec} = U \cdot I \cdot \Delta t$

2 Les unités de l'énergie

Domaine	Unité et symbole	Exemple
L'unité du Système International	Le joule : J	$E = 68 \text{ kJ}$
L'unité utilisée en électricité	Le kilowattheure : kW·h	$E = 3,00 \text{ kW} \cdot \text{h}$ $E = 3,00 \times 10^3 \times 3\,600 \text{ J}$ $E = 1,08 \times 10^7 \text{ J}$
L'unité utilisée pour un rayonnement	L'électron-volt : eV	$E = 12 \text{ eV}$ $E = 12,0 \times 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$ $E = 1,92 \times 10^{-18} \text{ J}$

INFOS FLASH

Consommation énergétique mondiale



B Convertisseurs d'énergie

COURS

1 Rendement d'une conversion

- L'énergie a non seulement de multiples formes, mais surtout elle peut être convertie d'une forme à l'autre ou simplement transférée.
- Les appareils permettant la transformation d'une forme d'énergie en une autre sont appelés **convertisseurs**.
- Très souvent, une conversion ou un transfert s'effectue avec des **pertes**.



Exemple : Un brûleur de chaudière transforme l'énergie chimique (gaz, fioul) en énergie thermique.



- On définit le **rendement** η de cette conversion (ou de ce transfert) : $\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{absorbée}}}$.
- En considérant la relation $E = P \cdot \Delta t$, on peut alors écrire aussi : $\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{absorbée}}}$.

2 Réversibilité des conversions d'énergie

- Certains convertisseurs sont **réversibles** : l'énergie peut transiter dans les deux sens en changeant de forme.

Exemple : Un convertisseur électromagnétique : certains moteurs électriques sont réversibles, notamment dans les tramways. Ce convertisseur peut passer de moteur électrique à génératrice électrique et réciproquement.

→ Pour avancer, il convertit l'énergie électrique en énergie mécanique.

Mode moteur électrique



→ Lors du freinage, il convertit l'énergie mécanique en énergie électrique.

Mode génératrice électrique



- La plupart des convertisseurs ne sont **pas réversibles** : ils ne peuvent transformer l'énergie que dans un seul sens.

Exemple :

Un panneau photovoltaïque transforme, de manière irréversible, l'énergie de rayonnement (lumière) en énergie électrique.



C Puissance

COURS

1 Puissance instantanée et puissance moyenne

- Lorsqu'on utilise une énergie $\Delta E = E(t_2) - E(t_1)$ pendant une durée $\Delta t = t_2 - t_1$, la **puissance moyenne** est définie par :

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{E(t_2) - E(t_1)}{t_2 - t_1}$$

- L'écart entre deux instants peut être noté Δt , on peut ainsi définir l'instant suivant t comme $t + \Delta t$.
- L'expression de la puissance moyenne pendant Δt peut alors s'écrire : $P = \frac{E(t + \Delta t) - E(t)}{\Delta t}$.

→ On peut définir la **puissance instantanée**, notée $P(t)$ comme la limite de l'expression $\frac{E(t + \Delta t) - E(t)}{\Delta t}$ lorsque $\Delta t \rightarrow 0$, ce qu'on

note $P(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{E(t + \Delta t) - E(t)}{\Delta t} \right)$.

→ Cela correspond à la dérivée par rapport au temps de l'énergie, soit $P(t) = \frac{dE(t)}{dt}$.

Remarques

- La relation $P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$ permet de définir le watt : $1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$.
Un watt correspond à 1 joule dissipé par seconde.
- De manière réciproque : $\Delta E = P \cdot \Delta t$, on peut alors écrire que $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$.
Pour une durée d'une heure (3 600 s) :
 $3\,600 \text{ J} = 1 \text{ W} \times 3\,600 \text{ s} = 1 \text{ W} \cdot \text{h}$.

Exemple : Clément et Noémie doivent soulever le même objet de masse $m = 4,7 \text{ kg}$ d'une hauteur de $0,70 \text{ m}$. Clément a mis $1,9 \text{ s}$ et Noémie a mis $1,2 \text{ s}$ pour le soulever. L'énergie E à fournir est la même. Elle est au minimum égale et opposée au travail du poids.

$$E = -W(\vec{P}) = \Delta E_{pp} = -m \cdot g \cdot (z_{\text{finale}} - z_{\text{initiale}})$$

$$= 4,7 \times 9,8 \times 0,70 = 32 \text{ J}$$

Ils ont donc fourni le même travail : 32 J . Par contre Noémie a fourni une puissance moyenne plus grande : $P_{\text{moy}}(\text{Clément}) = \frac{32}{1,9} = 17 \text{ W}$

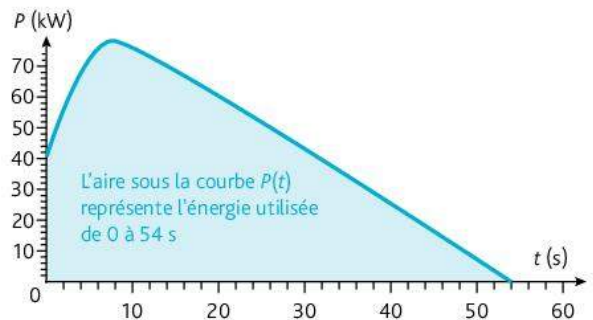
et $P_{\text{moy}}(\text{Noémie}) = \frac{32}{1,2} = 27 \text{ W}$.

2 Déterminer l'énergie E mise en jeu à partir d'une courbe de puissance

Liens avec les maths

- Mathématiquement si $P(t) = \frac{dE(t)}{dt}$ alors $E(t) = \int_0^t P(t) \cdot dt$.
- La valeur de l'énergie E est égale à l'intégrale de la fonction $P(t)$ entre les instants 0 et t .
- On ne peut pas toujours trouver une primitive à la fonction $P(t)$. Plusieurs méthodes graphiques existent pour calculer l'intégrale dont la méthode des rectangles.

Exemple :



3 Durée de fonctionnement d'un système autonome

- Un système **autonome** (comme un véhicule, un smartphone, etc.) embarque une certaine quantité d'énergie qu'il va progressivement consommer.
- Un système disposant d'une énergie E_{utile} dépensée avec une puissance P constante fonctionnera pendant une durée Δt en vérifiant :

$$E_{\text{utile}} = P \cdot \Delta t$$

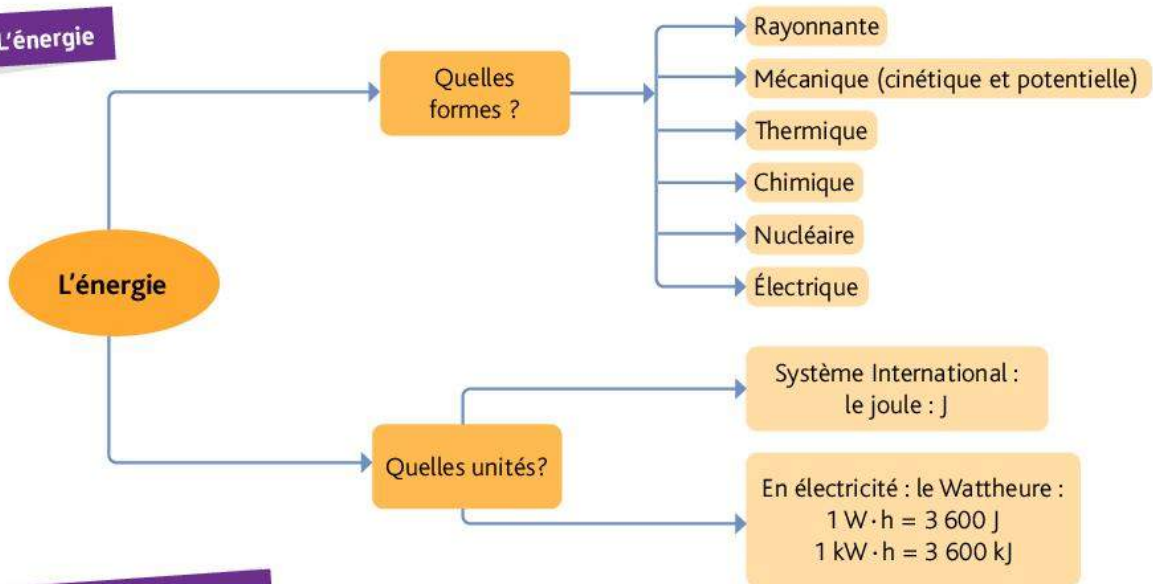
Exemple : Batterie de smartphone : Li-Polymer, $4,35 \text{ V}$, $3,1 \text{ A} \cdot \text{h}$, soit $E_{\text{utile}} = 48,5 \text{ kJ}$.
L'autonomie d'un smartphone consommant en moyenne une puissance de 2 W est de :

$$P = \frac{\text{Énergie utile}}{\text{Durée d'utilisation}}$$

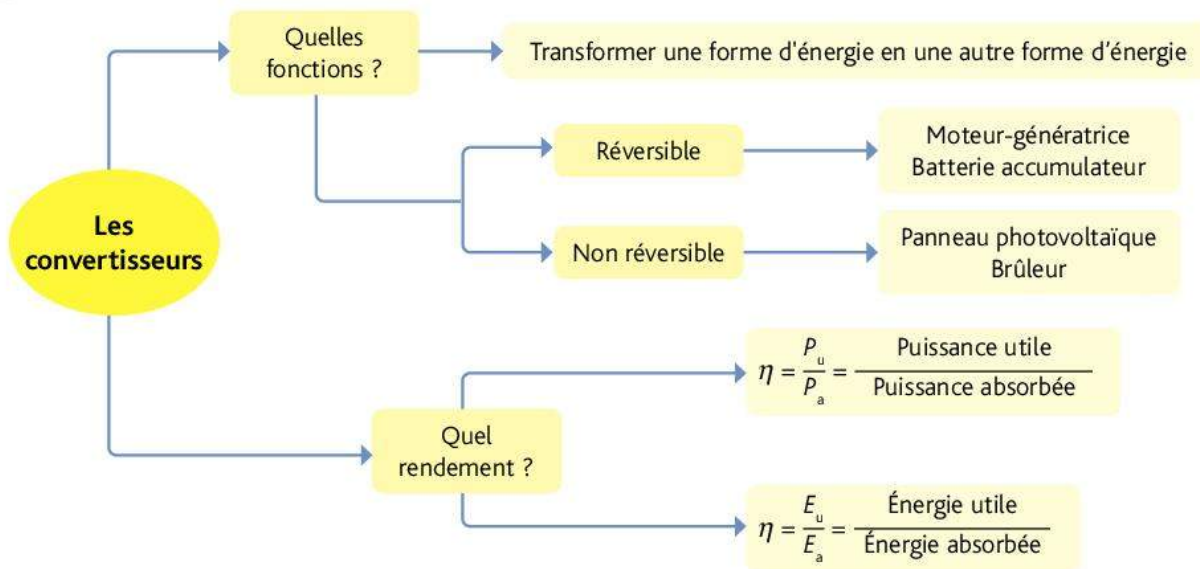
$$\Leftrightarrow \text{Durée d'utilisation} = \frac{\text{Énergie utile}}{P}$$

$$= \frac{48,5 \times 10^3}{2} = 6 \text{ h } 45 \text{ min}$$

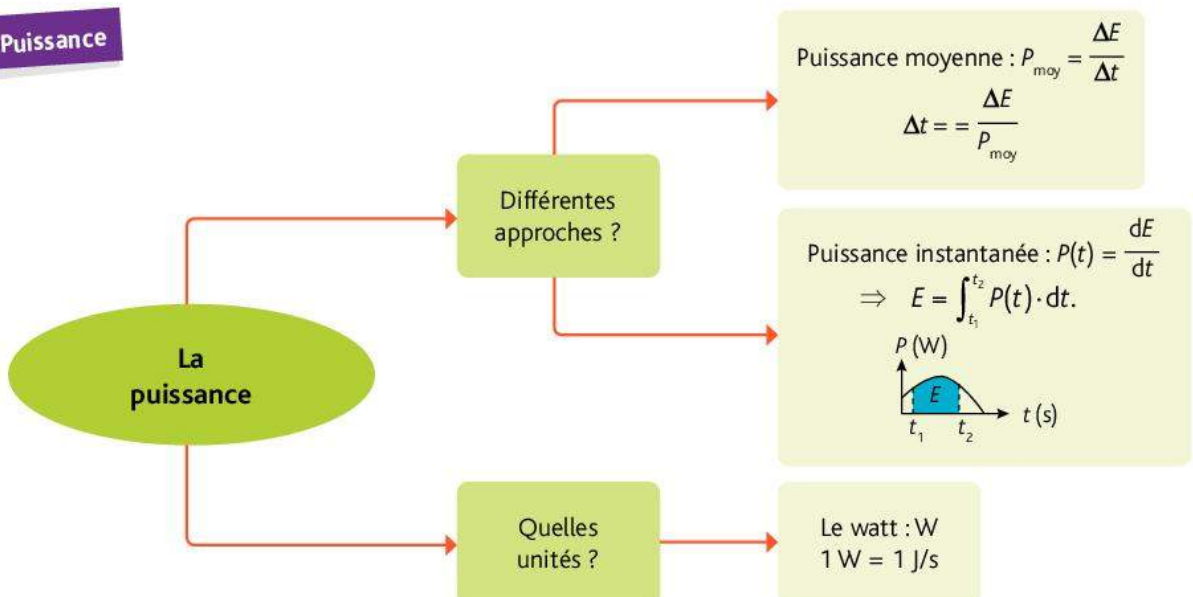
A. L'énergie



B. Convertisseurs d'énergie



C. Puissance



Questions flash  Pour chaque question, trouver la ou les bonne(s) réponse(s).



CORRIGÉS p. 300-304

1 La puissance moyenne P d'un système consommant une énergie E pendant une durée Δt s'écrit ...

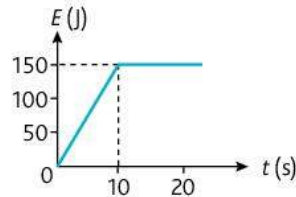
- a. $P = \frac{E}{\Delta t}$.
- b. $P = E \cdot \Delta t$.
- c. $P = \frac{\Delta t}{E}$.

2 La puissance instantanée $P(t)$ d'un système est définie comme ...

- a. la dérivée par rapport au temps de l'énergie.
- b. $P = \frac{dE}{dt}$.
- c. $P = dE \cdot dt$.

3 Voici l'évolution de l'énergie par un système en fonction du temps. La puissance est ...

- a. constante jusqu'à $t = 10$ s.
- b. nulle jusqu'à $t = 10$ s.
- c. constante et non nulle après $t = 10$ s.



4 Sur le graphe précédent, on peut déterminer la puissance reçue jusqu'à $t = 10$ s. La puissance est constante et vaut ...

- a. 150 W.
- b. 1 500 W.
- c. 15 W.

5 Sur le graphe précédent, on peut déterminer la puissance reçue après $t = 10$ s. La puissance est ...

- a. constante et vaut 150 W.
- b. nulle.
- c. constante et vaut 300 W.

Vrai ou Faux ? Pour chaque proposition, déterminer si elle est vraie ou fausse.

- 1** Une énergie qui ne varie pas dans le temps correspond à une puissance nulle.
- 2** Le rendement d'un système est défini par la relation $\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{absorbée}}}$.
- 3** Le moteur électrique convertit de l'énergie mécanique en énergie électrique.

- 4** Une batterie contenant $3 \text{ kW} \cdot \text{h}$ d'énergie pourra fonctionner 3 h quel que soit le moteur qu'elle alimente.
- 5** Si toute l'énergie thermique libérée par une combustion est intégralement récupérée pour chauffer un système, alors le rendement du transfert d'énergie est de 100 %.

A L'énergie

1 Formes d'énergie

Recopier et compléter le texte ci-dessous.
Un vélo à assistance électrique dispose d'une batterie. Celle-ci stocke de l'énergie sous forme d'énergie Elle convertit cette énergie en énergie ... pour alimenter un moteur. Ce moteur convertit cette énergie en énergie ... qui va être utilisée pour faire tourner les roues. L'ensemble de ces conversions d'énergie s'accompagne de pertes sous forme d'énergie

2 Durée de fonctionnement d'une batterie

Soit une batterie de 12 V et de capacité 40 A · h.

1. Montrer que cette batterie peut stocker une quantité d'énergie d'environ 480 W · h.

2. Quelle est la durée de fonctionnement de cette batterie si elle débite un courant constant de 500 mA ?



B Convertisseurs d'énergie

3 Relations autour du rendement

Soit un convertisseur d'énergie. On note les puissances P , les énergies E et le rendement η . Quelles sont les relations correctes ?

1. a. $\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{absorbée}}}$

b. $\eta = \frac{P_{\text{absorbée}}}{P_{\text{utile}}}$

c. $P_{\text{utile}} = \frac{P_{\text{absorbée}}}{\eta}$

2. a. $E_{\text{utile}} = \frac{E_{\text{absorbée}}}{\eta}$

b. $E_{\text{absorbée}} = \eta \cdot E_{\text{utile}}$

c. $E_{\text{utile}} = \eta \cdot E_{\text{absorbée}}$

4 Rendement d'un moteur thermique

Le moteur thermique d'une voiture diesel, de rendement 30 %, a une puissance mécanique de 100 kW.

1. Quelle est la puissance absorbée ? la puissance utile ?

2. Quelle est, dans ces conditions, la puissance fournie par la combustion dans le moteur ?

C Puissance

5 Calculs d'énergie et de puissance

Recopier et compléter le tableau.

	Puissance absorbée	Durée	Énergie absorbée
Lampe	50 W	10 min	... Wh
Motrice TGV	10 MW	... h	5×10^7 W · h
Ordinateur	200 W	1 h	... J
Moteur voiture	... kW	20 min	132 kJ

6 Énergie et puissance absorbées par un panneau solaire



Un particulier relève la valeur affichée par le compteur d'énergie électrique produite par son panneau solaire à différents moments d'une journée pas toujours très ensoleillée.

Heures	Minuit	0 h – 8 h	8 h – 11 h	11 h – 12 h
Compteur électrique (kW · h)	Mise à zéro : 0,0	Relevé à 8 h 00 : 0,0	Relevé à 11 h 00 : 1,5	Relevé à 12 h 00 : 1,8
Puissance électrique produite (kW)	X			

Heures	12 h – 15 h	15 h – 20 h	20 h – 0 h
Compteur électrique (kW · h)	Relevé à 15 h 00 : 4,8	Relevé à 20 h 00 : 6,3	Relevé à minuit : 6,3
Puissance électrique produite (kW)			

Attention ! Le compteur affiche l'énergie électrique accumulée.

1. Rappeler le type de conversion effectuée par un panneau solaire photovoltaïque.

2. Déterminer la puissance électrique moyenne produite par le panneau sur chaque intervalle de temps. Compléter le tableau.

3. En déduire la puissance électrique moyenne produite sur l'ensemble de la journée.



7 Rendement du moteur électrique de la Zoé

La voiture électrique Zoé est équipée d'une batterie de capacité 52 kW·h. Lors du déplacement sur une route horizontale, la puissance mécanique nécessaire pour maintenir une vitesse constante est d'environ 5 kW. Le rendement de l'ensemble du système {moteur + transmission} est de 75 %.



1. Quelle est la puissance utile ? Quelle est la puissance absorbée par le système ? Schématiser la chaîne de puissance de la voiture électrique.
2. Déterminer la valeur de la puissance électrique fournie par la batterie.
3. En déduire la durée de fonctionnement de la batterie, toujours dans l'hypothèse d'un déplacement horizontal à vitesse constante.
4. Si la vitesse de déplacement est estimée à 50 km/h, montrer que l'autonomie de la Zoé ne dépasse pas 400 km.

RÉSOLUTION DÉTAILLÉE

1 La puissance utile correspond à la puissance mécanique notée $P_{\text{méca}}$. La puissance absorbée a été fournie par la batterie électrique, on la note $P_{\text{élec}}$.



2 Le rendement η se calcule par la relation

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{absorbée}}}$$

et vaut 0,75 (c'est-à-dire 75 %).

$$P_{\text{utile}} = P_{\text{méca}} = 5 \text{ kW}, \text{ on a donc :}$$

$$P_{\text{absorbée}} = \frac{P_{\text{utile}}}{\eta} = \frac{5 \text{ kW}}{0,75} \approx 6,67 \text{ kW},$$

ce qui correspond à $P_{\text{élec}}$.

3 La batterie ayant une énergie emmagasinée (capacité) qui vaut $E = 52 \text{ kW}\cdot\text{h}$ et fournissant une puissance électrique qui vaut $P = 6,67 \text{ kW}$, on détermine la durée de fonctionnement grâce à la relation entre l'énergie, la puissance et la durée : $E = P \cdot \Delta t$ donc $\Delta t = \frac{E}{P} = \frac{52 \text{ kWh}}{6,67 \text{ kW}} \approx 7,8 \text{ h}$ soit 7 h 48 min de fonctionnement.

4 Avec une vitesse constante $v = 50 \text{ km/h}$, la voiture peut parcourir une distance d qui se calcule grâce à la relation :

$$d = v \cdot \Delta t = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times 7,8 \text{ h} = 390 \text{ km}, \text{ ce qui ne dépasse pas } 400 \text{ km}.$$

À vous de jouer

8 Voiture diesel et rendement

Une voiture diesel roule à vitesse constante de 130 km/h sur une autoroute. La puissance fournie par la combustion du carburant à cette vitesse est d'environ 90 ch.

Le rendement de l'ensemble {moteur + transmission} est de 35 %.

Donnée

Le cheval vapeur (1 CV ou 1 ch) correspond à une puissance de 736 W.

1. Schématiser la chaîne de puissance de la voiture en précisant la puissance utile et la puissance absorbée par le système {moteur + transmission}.
2. Déterminer la valeur de la puissance mécanique fournie aux roues.
3. La voiture parcourant 50 km sur autoroute, déterminer l'énergie mécanique fournie aux roues.



9 Puissance instantanée Maths

» Réaliser

Déterminer la puissance instantanée $P(t)$ exprimée en watts selon les expressions de l'énergie $E(t)$ exprimée en joules suivantes.

1. $E(t) = 50 \times t + 30$.
2. $E(t) = 150 \times t$.
3. $E(t) = 100 + 10 \times \sin^2(t)$.

Donnée

La dérivée par rapport au temps de la fonction $\sin^2(t)$ est $2 \times \sin(t) \cdot \cos(t)$.

10 Association

» Mobiliser ses connaissances

Associer chaque grandeur aux valeurs correspondantes :

$E_{\text{méca}}$	• •	20 kW	• •	0,20
Rendement η	• •	$7,2 \times 10^7$ J	• •	27 ch
$P_{\text{élec}}$	• •	20 %	• •	20 kW · h

Donnée

Le cheval vapeur (1 CV ou 1 ch) correspond à une puissance de 736 W.

11 Énergie consommée au cours du temps

» Analyser · Réaliser Maths

Un élève souhaite représenter l'évolution de sa consommation électrique pendant 1 h alors qu'il s'installe à son bureau. Il branche à $t_1 = 18$ h 00 son ordinateur portable et allume sa lampe de bureau. À $t_2 = 18$ h 30 min, il éteint son ordinateur et continue de lire ses cours. À $t_3 = 18$ h 45 min, il éteint sa lampe, la lumière du soleil étant suffisante, il s'arrête de travailler à $t_4 = 19$ h 00.

Données

- Puissance consommée par l'ordinateur 250 W ;
- Puissance consommée par la lampe : 50 W.

1. Pendant la première demi-heure (intervalle de temps $[t_1 ; t_2]$), quelle est la puissance totale consommée ?
2. De même, quelles sont les puissances consommées sur les intervalles de temps $[t_2 ; t_3]$ et $[t_3 ; t_4]$?

3. Représenter l'évolution de la puissance en fonction du temps $P = f(t)$.

4. Déterminer l'énergie électrique consommée au bout de la première demi-heure :

a. en utilisant l'expression de l'énergie en fonction de la puissance et de la durée.

b. en utilisant l'aire sous la courbe tracée à la question 3.

5. Représenter graphiquement l'évolution de l'énergie électrique consommée pendant cette heure de travail.

12 Freinage régénératif Application technologique

» Analyser · Réaliser

De plus en plus de véhicules, qu'ils soient thermiques, hybrides ou électriques cherchent à récupérer de l'énergie lors des phases de freinage.

1. Dans le cas d'une voiture électrique par exemple, quelle est la conversion d'énergie effectuée lors des phases de freinage ? À quoi peut servir l'énergie récupérée ?

2. Quel système peut alors fonctionner de manière réversible ?

3. Schématiser la chaîne énergétique correspondante.

4. À l'oral Enregistrer une courte présentation (moins de 1 minute) expliquant le principe du freinage régénératif d'un point de vue énergétique.

13 Rendement d'un système de levage

» Analyser · Réaliser

Sur les caractéristiques du moteur d'une grue pour enfant on peut lire : puissance électrique $P = 500$ mW. On lève une charge de masse $m = 300$ g sur une hauteur de 60 cm. La durée pour effectuer ce levage est d'environ 6,0 s.



1. Quelle est la quantité d'énergie électrique consommée pendant la montée ?

2. Quelle quantité d'énergie la charge a-t-elle gagnée au cours de la montée ?

Remarques

La variation d'énergie potentielle de pesanteur vaut $\Delta E_{pp} = m \cdot g \cdot h$.

3. En déduire le rendement du système de levage.

Donnée

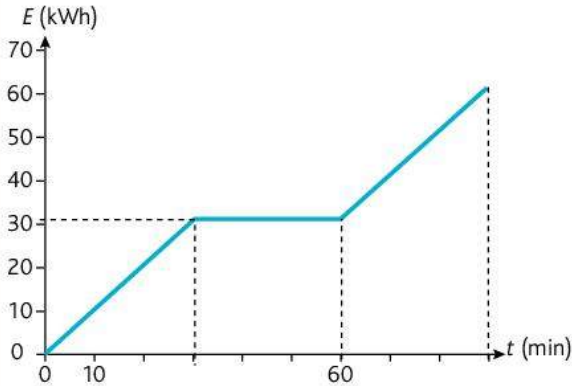
Intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.



14 Consommation électrique d'un éclairage

» S'approprier • Analyser • Réaliser **Maths**

On souhaite remplacer les ampoules d'un système d'éclairage peu économe en énergie. L'évolution de la consommation d'énergie du système est représentée ci-dessous.



1. Sur quel(s) intervalle(s) de temps le système d'éclairage est-il allumé ? éteint ?
2. En déduire la puissance (en W) du système d'éclairage.
3. On change les ampoules par des ampoules basses consommation. La puissance totale consommée du système n'est plus que de 20 W. Par quel facteur a été divisée la puissance ?
4. Représenter alors l'évolution de la consommation d'énergie en utilisant les mêmes intervalles de temps d'allumage et d'extinction du système.

15 Rendement de panneaux solaires photovoltaïques

» Analyser • Réaliser

Un particulier souhaite installer un panneau solaire photovoltaïque sur son toit. Il essaye d'estimer la surface de panneaux à poser où, dans des conditions d'orientation optimales, le rendement global de son système serait d'environ 15 %.



Il s'est renseigné et la ville où il habite reçoit en moyenne chaque jour un rayonnement solaire de $3,9 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$. Il estime sa consommation moyenne d'énergie annuelle à environ $4 \text{ MW} \cdot \text{h}$.

1. Quelles sont les formes d'énergies absorbée et utile pour le système étudié ?
2. Afin de satisfaire son besoin annuel en énergie, quelle quantité de rayonnement solaire (en $\text{kW} \cdot \text{h}$) doit-il recevoir sur ses panneaux solaires en une année ? en un jour ?
3. En déduire la surface de panneaux à installer.

16 Rendement d'un transfert d'énergie

» Analyser • Réaliser

Un ballon d'eau chaude électrique a une capacité de 200 L. La puissance électrique absorbée par la résistance chauffante vaut $P = 2,5 \text{ kW}$. La totalité du volume d'eau peut passer d'une température de 10 °C à 60 °C en 6 h.

Données

- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{\text{eau}} = 4185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Masse volumique de l'eau : $\rho = 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Parcours A

Déterminer le rendement du système de chauffage de l'eau dans le ballon.

Parcours B

1. Montrer que la quantité d'énergie Q absorbée par la totalité du volume d'eau pour passer de 10 °C à 60 °C vaut environ 42 MJ.
2. Montrer que l'énergie électrique consommée par le système chauffant vaut 54 MJ.
3. Quelle est la conversion d'énergie effectuée dans l'ensemble du système chauffant ?
4. En déduire le rendement du système de chauffage de l'eau dans le ballon.

17 Motorisation d'un véhicule hybride

Maths Application technologique

» Analyser • Réaliser

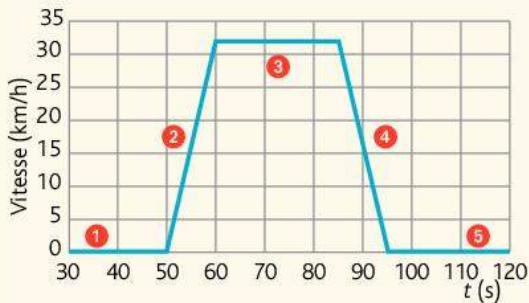
Un véhicule hybride possède 2 types de moteurs : un moteur électrique et un moteur thermique.

DOC. 1 Caractéristiques des 2 moteurs.

Moteur thermique	Puissance max	50 kW
	Couple max	100 N·m (à 3 000 tr/min)
Moteur électrique	Puissance max	20 kW
	Couple min-max	70-100 N·m

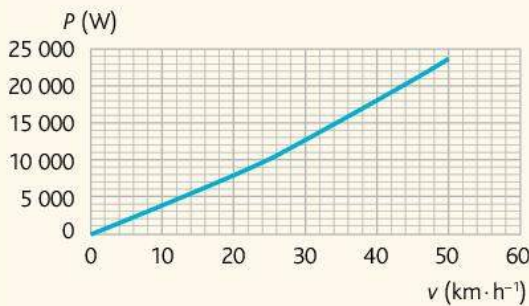
Lors d'un test du véhicule sur route horizontale, des mesures ont permis de tracer l'évolution de la vitesse en fonction du temps (doc. 2).

DOC. 2 Évolution de la vitesse du véhicule lors du test.



1. Repérer les différentes phases du test en précisant le type de mouvement.
2. Rappeler la relation qui permet de déterminer l'accélération a du véhicule lors d'une variation de vitesse Δv sur une durée Δt . En déduire l'accélération du véhicule sur la phase n° 2.
3. Indépendamment de ces tests, des mesures de puissance motrice en fonction de la vitesse du véhicule ont été réalisées sur le même type de route horizontale (doc. 3). Déterminer, à l'aide du doc. 3, la puissance motrice maximale délivrée par le moteur lors de cette phase n° 2.

DOC. 3 Puissance motrice en fonction de la vitesse.



4. En utilisant le doc. 1, vérifier que le moteur électrique est capable d'assurer seul cette puissance motrice lors de cette phase n° 2 d'accélération.

18 Qui est le plus puissant ?

» S'approprier • Analyser • Réaliser

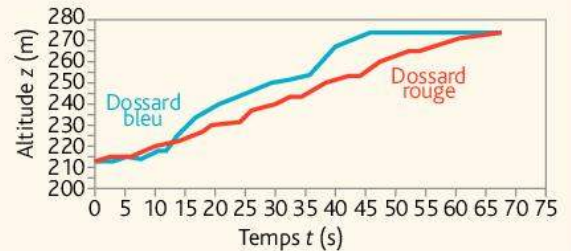
Deux coureuses (l'une porte un dossard bleu et l'autre un dossard rouge) s'affrontent amicalement sur un même parcours : l'escalade d'une colline. Les deux coureuses ont la même masse, $m = 57 \text{ kg}$.

Leurs parcours respectifs ont été enregistrés et traduits sous forme du graphe ci-dessous.

Donnée

Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

DOC. Course d'escalade d'une colline.



1. Lire sur le graphe la durée du parcours de chacune. Qui a gagné ?
2. Quel dénivelé (différence d'altitudes) ont-elles gravi ?
3. L'énergie à fournir pour passer de l'altitude z_{initiale} et z_{finale} a pour expression :

$$E = -\Delta E_{\text{pp}} = -m \cdot g \cdot (z_{\text{finale}} - z_{\text{initiale}}).$$
Calculer l'énergie à fournir pour gravir cette colline.
4. Calculer la puissance moyenne développée pour chacune des deux coureuses. En déduire la coureuse la plus puissante.
5. Calculer la puissance développée par la coureuse au dossard bleu entre les instants $t_1 = 35 \text{ s}$ et $t_2 = 40 \text{ s}$. Commenter ce résultat en le comparant aux résultats de la question 4.



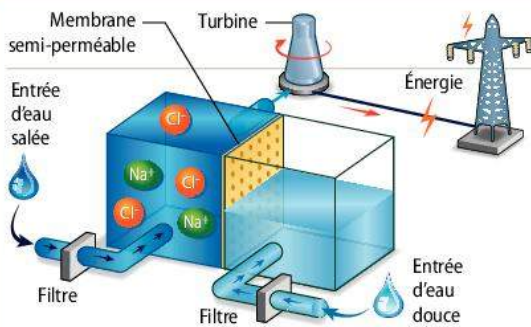
19 Conversion chimico-mécanique dans une usine osmotique

- En 2009, à Tofte au sud d'Oslo en Norvège a été construit un prototype de centrale osmotique (doc. 1).
- Ce type de centrale est basé sur le principe de l'osmose (doc. 2).

L'énergie osmotique désigne l'énergie exploitable à partir de la différence de salinité entre l'eau de mer et l'eau douce.

DOC. 1 Fonctionnement de l'usine osmotique.

De l'eau douce puisée dans un fleuve est stockée dans un premier réservoir et de l'eau salée puisée dans la mer est stockée dans un second réservoir. Ces 2 réservoirs sont séparés par une membrane semi-perméable qui laisse passer les molécules d'eau et bloque les ions Na^+ et Cl^- de l'eau de mer.



» S'approprier • Analyser • Réaliser

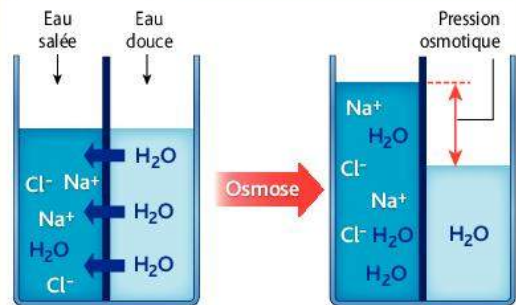
1. Pourquoi qualifie-t-on la conversion d'énergie par osmose au niveau des réservoirs de chimico-mécanique ?
2. Quelle autre conversion est également réalisée ensuite grâce au système {turbine + alternateur} ? Schématiser alors l'ensemble de la chaîne énergétique de l'usine osmotique.
3. La pression osmotique notée π (en kPa) peut se calculer selon la formule de Van't Hoff :

$$\pi = ([\text{Na}^+] + [\text{Cl}^-]) \cdot R \cdot T$$

avec R la constante des gaz parfaits qui vaut $8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et où les concentrations molaires des ions sont exprimées en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, la température T en K.

DOC. 2 Principe de l'osmose.

L'eau passant à travers la membrane semi-perméable, la concentration en sel de la solution saline diminue et le niveau du réservoir d'eau salée augmente. Ce surplus de hauteur d'eau (correspondant à la pression osmotique) peut alors être utilisé pour produire de l'électricité en actionnant une turbine associée à un alternateur selon le même principe que celui des barrages hydroélectriques.



- a. La concentration massique en sel dans l'eau de mer est d'environ $35 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. Montrer que la concentration molaire de chacun des ions de l'eau de mer correspond à $[\text{Na}^+] = [\text{Cl}^-] = 0,60 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
- b. En déduire la pression osmotique atteinte si la température de l'eau de mer est d'environ $10 \text{ }^\circ\text{C}$.
4. La relation fondamentale de l'hydrostatique s'appliquant à un liquide de masse volumique ρ s'écrit $\Delta p = \rho \cdot g \cdot h$ avec Δp la différence de pression (en Pa) entre 2 niveaux de liquide séparés d'une hauteur h (en m).

Déterminer la hauteur h à laquelle correspond la pression osmotique π déterminée à la question précédente.

Données

- Masses molaires : $M(\text{Na}) = 23 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.
- Masse volumique de l'eau salée : $\rho \approx \rho_{\text{eau}} = 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Mini-projet d'application

Chauffer les habitats avec des combustibles ou à l'électricité ?

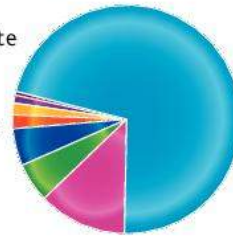


Cahier des charges à suivre

- ➔ Déterminer expérimentalement, puis comparer les rendements de deux modes de chauffage (combustion d'alcool à brûler et effet Joule) avec les meilleurs rendements possibles.
- ➔ Comparer ces deux modes de chauffage dans le cas d'une habitation.
- ➔ Évaluer les masses des déchets produits, pour une consommation d'énergie moyenne par habitant (ou par m^2).

DOC. 1 Répartition de la production électrique en France.

Production nette d'électricité en France métropolitaine en 2018
548, TWh



- Nucléaire (71,7 %)
- Hydraulique (12,5 %)
- Gaz (5,7 %)
- Éolien (5,1 %)
- Solaire (1,9 %)
- Bioénergies (1,8 %)
- Charbon (1,1 %)
- Fioul (0,4 %)

DOC. 2 Le chauffage au bioéthanol.

Le bioéthanol (formule C_2H_5OH) est un combustible liquide obtenu à partir de la biomasse (cannes à sucre, maïs, betteraves, ...). Utilisé comme carburant dans certains moteurs d'automobiles, il est aussi proposé comme combustible de « cheminées au bioéthanol ».



Son pouvoir calorifique inférieur (PCI) est de $28,9 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Sa masse volumique est $\rho = 789 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

DOC. 3 Le chauffage électrique.

Ce mode de chauffage utilise l'effet Joule : un courant d'intensité I qui circule dans un dipôle de résistance R dégage une puissance thermique $P_J = R \cdot I^2$ (I en ampères, R en ohms, P en watts).

Vers le grand oral

Quel mode de chauffage choisir suivant l'habitation à chauffer ?
Comment nos déchets sont-ils valorisés ?

S'approprier le projet avant de commencer

- 1 Comment relier la variation de la température de l'eau à la quantité d'énergie qu'elle a accumulée ?
- 2 À partir de l'équation de combustion de l'éthanol, calculer la masse de dioxyde de carbone émise par kg d'éthanol brûlé, puis par $\text{kW} \cdot \text{h}$ d'énergie dégagée.
- 3 Rechercher ou déterminer la masse de déchet nucléaire par $\text{kW} \cdot \text{h}$ d'électricité produite en France.

Se préparer

et réviser les acquis de 1^{re}

Pour l'enseignant

Diaporama des questions flash

Questions flash



CORRIGÉS p. 300-304

Pour chaque question, trouver la ou les bonnes réponses.

- 1 Un oxydant est une entité chimique capable de...
 - a. gagner des électrons.
 - b. perdre des électrons.
 - c. gagner ou perdre des électrons, cela dépend de l'utilisation.

- 2 Un réducteur est une entité chimique capable de...
 - a. gagner des électrons.
 - b. perdre des électrons.
 - c. gagner ou perdre des électrons, cela dépend de l'utilisation.

- 3 Les électrons peuvent circuler...
 - a. dans les solutions.
 - b. dans les matériaux conducteurs d'électricité.
 - c. dans les isolants électriques.

- 4 Une pile est le siège d'une réaction...
 - a. de substitution.
 - b. d'oxydoréduction.
 - c. acido-basique.

- 5 Un couple oxydant-réducteur s'écrit...
 - a. oxydant / réducteur.
 - b. réducteur / oxydant.
 - c. réducteur = oxydant.

- 6 La demi-équation d'oxydoréduction du fer est...
 - a. $\text{Fe}^{2+} = \text{Fe} + 2\text{e}^-$.
 - b. $\text{Fe}^{2+} + \text{e}^- = \text{Fe} + \text{e}^-$.
 - c. $\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Fe}$.

- 7 Dans l'équation d'oxydoréduction $\text{Cu}^{2+} + \text{Fe} \rightarrow \text{Cu} + \text{Fe}^{2+}$...
 - a. le cuivre est oxydé.
 - b. le cuivre est réduit.
 - c. le fer est oxydé.

Capacités exigibles

- Identifier l'oxydant et le réducteur mis en jeu dans une pile ou un accumulateur à partir de la polarité de la pile ou des couples oxydant/réducteur utilisés.
- Calculer l'énergie totale stockée dans une batterie d'accumulateurs ou une pile à partir des caractéristiques tension et quantité d'électricité stockée.
- Définir un fonctionnement réversible et non-réversible pour un convertisseur.

Activités 2 3 4

Activité 1

Activités 3 4

L'oxydo-réduction



Les batteries du futur
(4 min 43)



Fébus est le premier bus électrique doté d'une pile à hydrogène de France, un moyen de transport 100 % propre qui circule depuis septembre 2019 dans la ville de Pau.

Quelles technologies d'accumulateurs ou de piles ont permis l'essor des véhicules électriques et de l'électronique portable ?



Liens avec les maths

- Calculs mathématiques simples. **Activité 1**
- Relation de proportionnalité. **Activité 1**
- Tracé et exploitation de courbes. **Activité 3**
Exercice 17

Activités



- 1 Quelle alimentation pour un vélo électrique ?
- 2 La batterie lithium-ion au cœur du prix Nobel
- 3 Fabriquer un accumulateur
- 4 Comment fonctionne une pile à combustible ?

documentaire

documentaire

expérimentale

expérimentale

Quelle alimentation pour un vélo électrique ?

Capacité

Calculer l'énergie totale stockée dans une batterie d'accumulateurs ou une pile à partir des caractéristiques tension et quantité d'électricité stockée.

Objectif

Quelle technologie de batterie faut-il choisir pour alimenter son vélo ?

En industrie, en milieu hospitalier, en voiture ou à la maison, les piles et accumulateurs sont indispensables à notre quotidien, alimentant tous nos appareils mobiles.

Un vélo électrique équipé d'une batterie (36 V, 10 A·h), peut parcourir environ 40 km en autonomie.


DOC. 1 Piles ou accumulateurs

Les piles et les accumulateurs sont des convertisseurs électrochimiques qui permettent de transformer l'énergie chimique stockée en énergie électrique. Alors qu'une pile cesse de fonctionner lorsqu'elle a épuisé un de ses réactifs, les accumulateurs mettent en jeu des réactions chimiques réversibles, c'est-à-dire qui fonctionnent dans les deux sens. Un accumulateur, contrairement à la pile, peut donc être rechargé.

DOC. 3 Grandeurs caractéristiques de différentes technologies de batteries.

Technologie de batterie	Plomb	Ni/MH	Li-ion	Li-polymère
Énergie spécifique (en $W \cdot h \cdot kg^{-1}$)	40	80	200	170
Nombre de cycles (charge/décharge)	800	1 500	1 200	250
Autodécharge par mois	5 %	20 %	3 %	5 %
Tension nominale d'un élément	2V	1,2V	3,6V	3,7V

DOC. 2 Les grandeurs principales qui caractérisent les batteries.

- La **tension nominale** U aux bornes de la batterie. Elle s'exprime en volts (V).
- La **capacité** Q de la batterie représente la quantité de charges électriques qu'elle peut stocker. Elle s'exprime en ampères-heures (A·h).

$$Q = I \cdot \Delta t$$

Avec Q : la capacité en ampères-heures (A·h) ; I : l'intensité en ampères (A) ; Δt : la durée en heures (h).

- L'**énergie** \mathcal{W} disponible ou stockée dans une batterie de tension U et de capacité Q est :

$$\mathcal{W} = Q \cdot U.$$

Avec \mathcal{W} en joules (J) ; Q en coulombs (C) ; U en volts (V).

- La **densité énergétique** de la batterie est la quantité d'énergie stockée par unité de masse ou de volume. Elle s'exprime en $W \cdot h \cdot kg^{-1}$ ou en $W \cdot h \cdot L^{-1}$.

Remarque

$$1 W \cdot h = 3 600 J.$$

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 **» Analyser** Pourquoi choisir une batterie plutôt qu'une pile ?

2 **» S'approprier** Que représentent les valeurs 36 V et 10 A·h ?

3 **» Réaliser** Quelle est l'énergie \mathcal{W} stockée dans une batterie (36 V, 10 A·h) ? Exprimer \mathcal{W} en wattheures et en joules.

4 **» Réaliser** Pour chaque technologie du doc. 3, calculer la masse de la batterie nécessaire.

Conclusion

Choisir la batterie la mieux adaptée selon vous et argumenter votre réponse.

La batterie lithium-ion au cœur du prix Nobel

Pour l'enseignant
Grille d'auto-évaluation

Capacité Identifier l'oxydant et le réducteur mis en jeu dans une pile ou un accumulateur à partir de la polarité de la pile ou des couples oxydant/réducteur utilisés.

Objectif Pourquoi la batterie lithium-ion est-elle devenue incontournable de nos jours ?

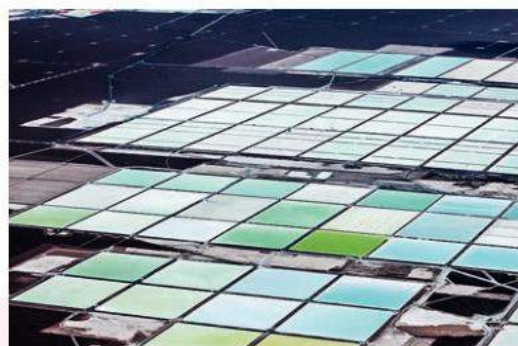
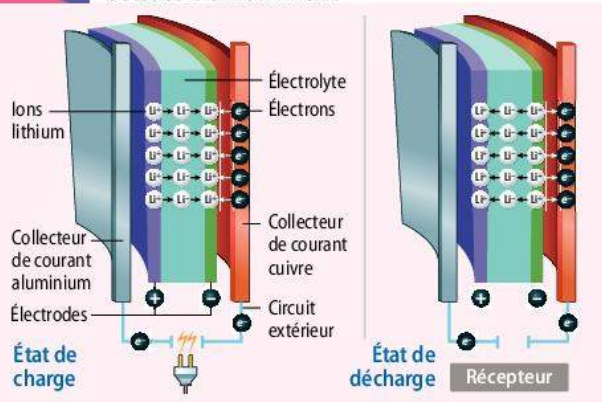
La batterie lithium-ion se cache dans nos téléphones portables, dans nos ordinateurs, mais aussi dans nos voitures électriques. Rappelons que le lithium (Li) est le métal le plus léger que nous connaissons, mais il est aussi extrêmement réactif car particulièrement prompt à libérer son unique électron de valence.



DOC. 1 L'histoire du prix Nobel 2019.

- **1970 : Stanley Whittingham** propose le schéma d'une batterie révolutionnaire au lithium capable de fournir 2 volts. À la base, une cathode constituée de disulfure de titane (TiS_2), structurée en couches dont les intervalles permettent d'accueillir les ions lithium. L'anode de la batterie est, quant à elle, composée de lithium métallique qui, trop réactif, pose des problèmes de sécurité.
- **1980 : John Goodenough** se tourne vers un oxyde de cobalt pour construire sa cathode. Il développe une batterie au lithium de 4 volts. Le tout sans ajouter au poids du système.
- **1985 : Akira Yoshino** remplace le lithium métallique des anodes par du coke de pétrole. C'est ainsi que naît la toute première batterie lithium-ion commercialisable : une batterie légère, résistante et qui peut être chargée des centaines de fois sans que ses performances ne se détériorent trop.

DOC. 2 Principe de fonctionnement d'une cellule lithium-ion.



DOC. 3 Pas si écologique ?

En plus d'un recyclage trop partiel voire inexistant, la production des batteries au lithium pose un problème écologique. L'exploitation du lithium a des conséquences écologiques et sociales importantes sur les lieux d'extraction, en particulier à cause de la pollution et de l'épuisement des ressources en eau, affirme l'ONG *Les Amis de la Terre*. Dans son rapport, l'organisation s'inquiète que la transformation du lithium nécessite entre autres des produits chimiques toxiques. Les communautés, les écosystèmes et les aliments produits peuvent être dangereusement exposés à des rejets toxiques.

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **Réaliser** Rechercher le numéro atomique du lithium et donner sa répartition électronique. En déduire la formule de l'ion lithium.

2 » **S'approprier** Résumer l'évolution des piles lithium-ion de 1970 à nos jours.

3 » **Réaliser** Sur le schéma de fonctionnement, indiquer pour la charge et la décharge : l'anode, la cathode, où ont lieu l'oxydation et la réduction.

Conclusion

Expliquer en quelques lignes les avantages et les inconvénients de ces piles.

Fabriquer un accumulateur



Capacités

- Identifier l'oxydant et le réducteur mis en jeu dans une pile ou un accumulateur à partir de la polarité de la pile ou des couples oxydant/réducteur utilisés.
- Définir un fonctionnement réversible et non-réversible pour un convertisseur.

Objectif du TP

Réaliser un accumulateur et observer les effets de la charge et décharge sur la batterie.

MATÉRIEL

- Bécher de 250 mL
- Solution d'hydroxyde de sodium à $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Deux électrodes (une en fer et l'autre en nickel).
- Deux multimètres.
- Générateur continu.
- Rhéostat de charge.

DOC. 1 La batterie automobile d'Edison.

Thomas Edison, pionnier dans le domaine de l'électricité, travaille en 1902 autour d'une batterie pour automobile avec le couple nickel-fer. Cette batterie résiste bien au temps et aux décharges mais peine à dégager une forte énergie. Edison, en fervent promoteur des voitures électriques, décide de prouver l'autonomie de sa batterie : en 1910, il participe à une course automobile d'endurance, d'une longueur de 1 000 miles, avec la Bailey Electric Phaeton.

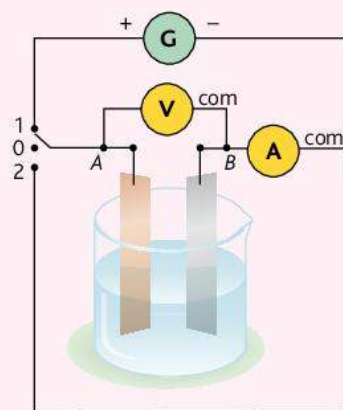
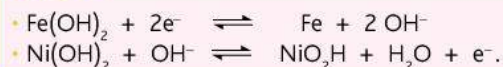


La batterie inventée par Edison est remise au goût du jour, grâce aux travaux du chimiste Hongjie Dai, de la Stanford University (États-Unis). La batterie nickel-fer, améliorée avec l'addition de nanotubes de carbone et du graphène, semble atteindre une densité énergétique mille fois supérieure à celle d'Edison et conserver ses temps de charge ultrarapides : elle pourrait ainsi être utilisée, dans l'avenir, comme booster (turbo) lors de l'accélération des voitures électriques.

DOC. 2 Réaliser un accumulateur nickel-fer.

- Dans un bécher de 250 mL, verser une solution d'hydroxyde de sodium à $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Plonger dans le bécher les deux électrodes, une en fer et l'autre en nickel.
- Attendre 3 minutes (position 0) pour qu'il se crée à la surface du fer et du nickel, une couche d'hydroxyde de fer $\text{Fe}(\text{OH})_2$ et d'hydroxyde de nickel $\text{Ni}(\text{OH})_2$.
- On observe alors en position 1, la charge de l'accumulateur et, en position 2, sa décharge.

Données



1. Lors de la charge, en vous aidant du sens du courant, déterminer le sens de déplacement des électrons. En déduire quelle électrode est l'anode et quelle réaction y a lieu. Même question pour la cathode.
2. Refaire le même raisonnement lors de la décharge.
3. Tracer la courbe de décharge de l'accumulateur, c'est-à-dire les variations de sa tension en fonction du temps. Que remarque-t-on sur son temps de charge et de décharge ? Proposer une utilisation possible de cette batterie de nos jours.

Conclusion du TP

Recommencer un cycle de charge, puis de décharge, en faisant varier le temps de charge. Quelle est l'influence du temps de charge sur le fonctionnement de la batterie ?

Comment fonctionne une pile à combustible ?



Capacités

- Identifier l'oxydant et le réducteur mis en jeu dans une pile ou un accumulateur à partir de la polarité de la pile ou des couples oxydant/réducteur utilisés.
- Définir un fonctionnement réversible et non-réversible pour un convertisseur.

Objectif du TP

Comprendre le fonctionnement d'une pile à combustible.

On dispose d'un ensemble permettant la transformation de l'énergie solaire en énergie électrique par l'intermédiaire d'une pile à combustible réversible.

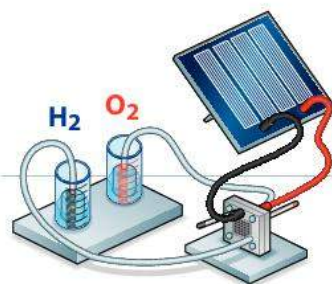
Couples redox mis en jeu : $O_{2(g)} / H_2O_{(l)}$ et $H^+_{(aq)} / H_{2(g)}$.

MATÉRIEL

- Kit comprenant une pile à combustible avec ses réservoirs.
- Un panneau solaire.
- Une charge (moteur).

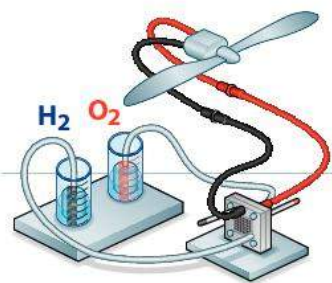
ÉTAPE 1 Production d'hydrogène grâce à l'énergie solaire

1. Placer les cloches de verre dans les cylindres réservoirs remplis d'eau distillée.
2. Relier la cloche du réservoir d'hydrogène et la cloche du réservoir d'oxygène à la pile à combustible « réversible ».
3. Enfin, alimenter la pile à combustible avec le panneau solaire jusqu'à ce que les réservoirs soient pleins.



ÉTAPE 2 Utilisation de la pile à combustible « réversible » pour alimenter le moteur électrique d'un ventilateur

1. Brancher les câbles électriques du moteur dans les prises de la pile à combustible comme indiqué.
2. Le moteur se met en marche et commence à consommer l'hydrogène contenu dans le réservoir. Il peut s'avérer nécessaire de donner une impulsion à l'aide d'un doigt sur l'hélice pour faire démarrer le moteur.



ÉTAPE 3 Résolution

1. Quelle conversion énergétique est-elle réalisée lors de l'étape 1 ? La pile fonctionne-t-elle en récepteur ou en générateur ?
2. Mêmes questions pour l'étape 2.
3. Pourquoi cette pile est-elle dite « réversible » ?
4. Sur le montage de l'étape 2, placer un ampèremètre afin de déterminer le sens du courant. Identifier les bornes + et - de la pile et en déduire le sens de déplacement des électrons.
5. Déterminer l'électrode où a lieu l'oxydation, puis l'électrode où a lieu la réduction.
6. En déduire où se trouvent l'anode et la cathode et écrire les demi-équations d'oxydoréduction qui y ont lieu.

Conclusion du TP

Faire un schéma de la pile en y indiquant l'anode, la cathode, les demi-équations et le sens du courant. Quel est l'intérêt d'une telle pile ?

A Piles et accumulateurs

COURS

- Les piles et les accumulateurs sont des **convertisseurs électrochimiques** qui permettent de transformer l'énergie chimique stockée en énergie électrique.
- Les piles et accumulateurs contiennent des espèces polluantes et toxiques que le recyclage permet de valoriser tout en protégeant l'environnement.

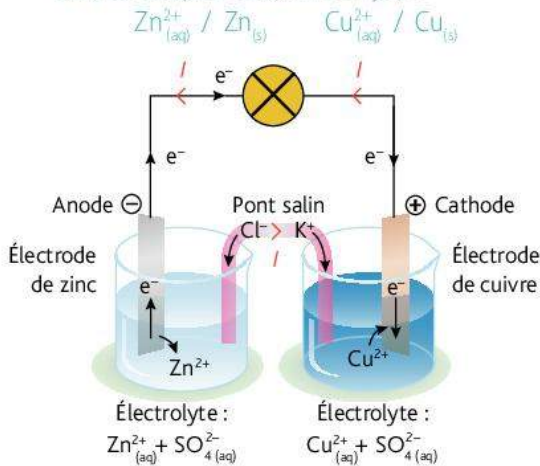
Lien vidéo  **Fonctionnement détaillé d'une pile Daniell** 

Lien vidéo  **Créer une pile électronique avec seulement 2 gouttes de solutions ioniques**

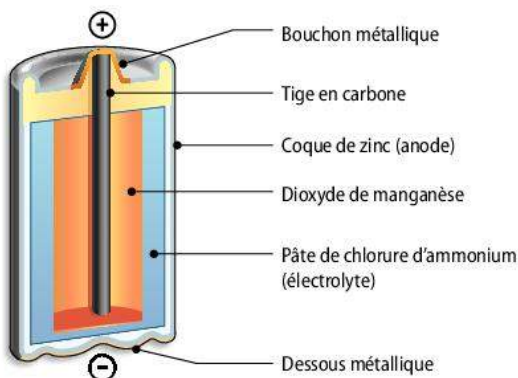
1 La pile

- Une **pile** en fonctionnement consomme ses réactifs jusqu'à leur épuisement. Les piles ont donc une durée de vie limitée, liée à la quantité de réactifs chimiques présents à l'intérieur.

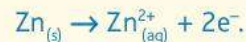
Exemple : Fonctionnement de la pile Daniell (zinc - cuivre). Couples redox mis en jeu :



Exemple : Structure d'une pile alcaline standard

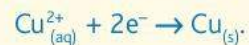


- La pile est constituée :
 - d'une électrode en zinc qui est le siège d'une **oxydation** :



Elle constitue l'anode et libère les électrons : c'est la borne négative.

- d'une électrode en cuivre qui est le siège d'une **réduction** :



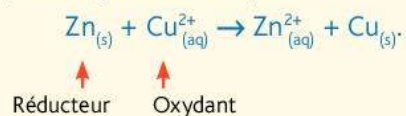
Elle constitue la cathode et capte les électrons : c'est la borne positive.

- d'un **pont salin** qui assure le passage du courant à l'intérieur de la pile.

Les cations K^{+} se déplaçant dans le sens du courant, les anions Cl^{-} dans le sens inverse.

- d'un **circuit extérieur** dans lequel les électrons se déplacent dans le sens opposé au courant électrique.

- Équation globale de la pile :

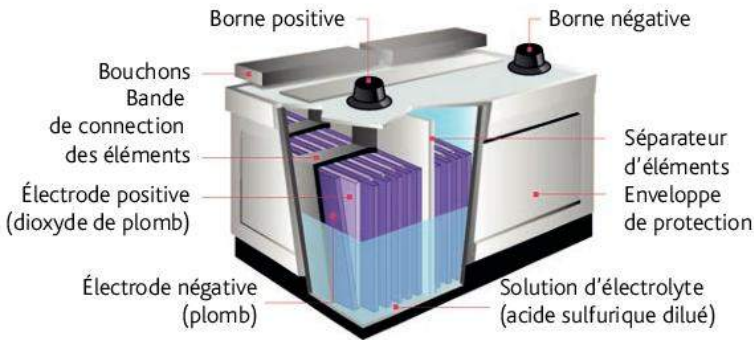


2 L'accumulateur

- Les accumulateurs mettent en jeu des réactions chimiques **réversibles**, c'est-à-dire qui fonctionnent dans les deux sens. Un accumulateur a donc la capacité de **reformer ses réactifs lors des charges**.



Fonctionnement d'une batterie : processus électrochimique (2 min 02)



Exemple : fonctionnement de l'accumulateur au plomb

L'accumulateur au plomb est constitué de deux électrodes en plomb, l'une étant recouverte d'oxyde de plomb PbO_2 . Couples redox PbO_2/Pb^{2+} et Pb^{2+}/Pb . L'électrolyte est une solution concentrée d'acide sulfurique ($2H^+$, SO_4^{2-}).

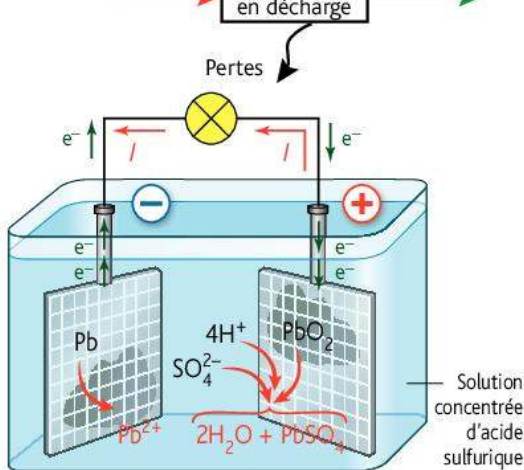
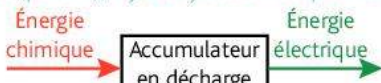
- **Décharge :** lors de la décharge, l'accumulateur transforme spontanément l'énergie chimique en énergie électrique.

Exemple :

- À la cathode (pôle +), il y a réduction du dioxyde de plomb de l'électrode :



- À l'anode (pôle -), il y a oxydation du plomb :



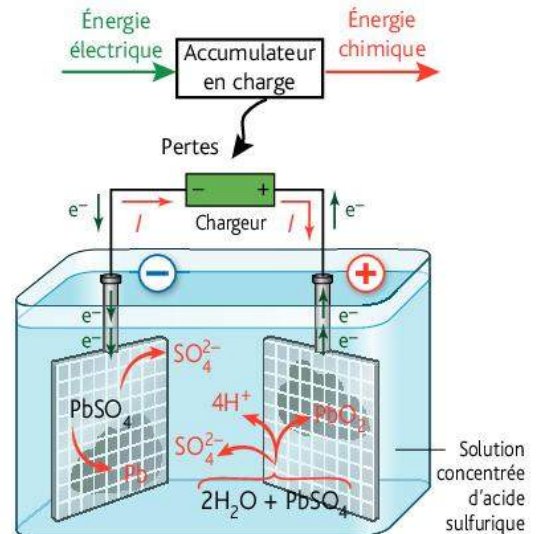
- **Charge :** lors de la charge, le générateur extérieur force les électrons à circuler afin de reformer les réactifs et donc de transformer l'énergie électrique en énergie chimique.

Exemple :

- À l'anode (pôle +), il y a oxydation du sulfate de plomb déposé sur l'électrode lors de la décharge :

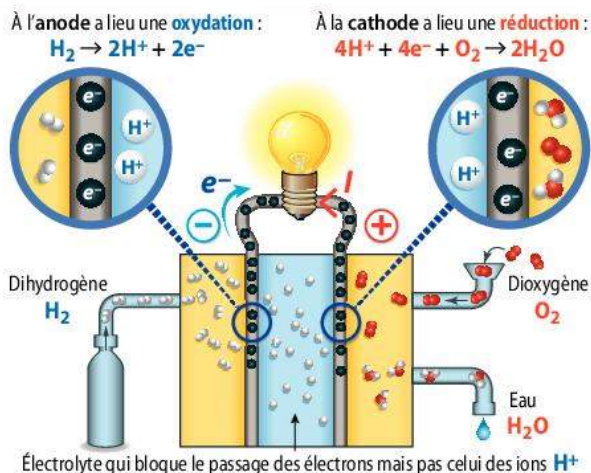
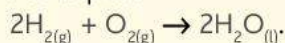


- À la cathode (pôle -), il y a réduction du sulfate de plomb :



3 La pile à combustible

- Lors de son fonctionnement, une pile à combustible doit en permanence être alimentée en **réactifs**. Son principe repose alors sur l'oxydation d'un **combustible** (par exemple l'hydrogène) et la réduction d'un **comburant** (par exemple l'oxygène) aboutissant à la production simultanée d'eau, d'énergie électrique et de chaleur.
- Équation de la réaction chimique de fonctionnement de la pile :



B Caractéristiques des piles et accumulateurs

1 La tension nominale

- La **tension nominale** d'une batterie ou d'une pile, exprimée en volts (V), est sa tension de fonctionnement.

2 La capacité

- La **capacité** d'une pile est la quantité d'électricité Q disponible dans cette pile exprimée en coulombs (C) ou en ampères-heures (A·h) : $Q = I \cdot \Delta t$.
Avec : Q la capacité en ampères-heure (A·h) ;
 I l'intensité du courant en ampères (A) ; Δt la durée de la charge ou de la décharge en heures (h).

- La **quantité d'électricité** d'une batterie ou d'une pile est directement liée au nombre d'électrons que peut produire la réaction d'oxydoréduction, on a donc la relation :

$$Q = n_e \cdot F$$

Avec : Q la capacité en coulombs (C) ; n_e le nombre de moles d'électrons pouvant être échangés (mol) ; F la constante de Faraday représentant la charge en coulombs d'une mole d'électrons :

$$F = N_A \cdot e = 96,5 \times 10^3 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Remarque

- La capacité Q peut aussi être exprimée en coulombs (C), dans ce cas l'intensité I est en ampères (A) et la durée Δt en secondes (s).
- Une capacité $Q = 1 \text{ A} \cdot \text{h}$ signifie que la pile peut débiter un courant de 1 A pendant 1 h, 0,5 A pendant 2 h, etc.

Texte



Tableaux comparatifs
des différentes piles
et batteries



Astuce

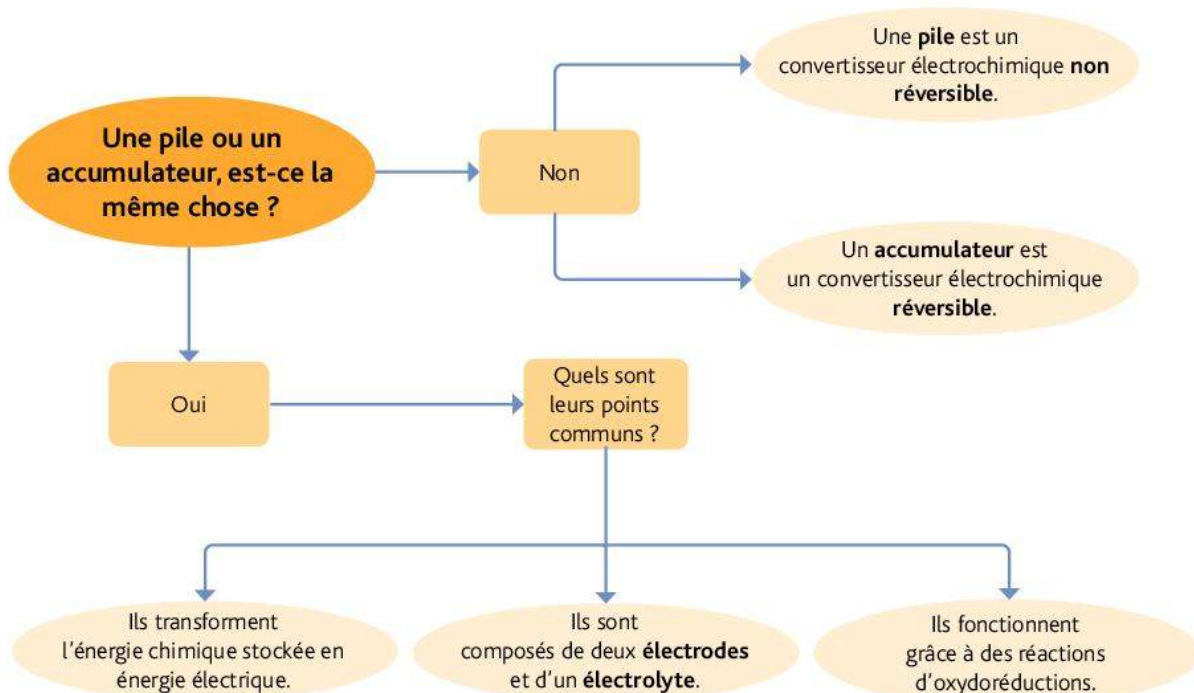
Changement d'unités :
 $1 \text{ A} \cdot \text{h} = 3\,600 \text{ C}$.
 $1 \text{ W} \cdot \text{h} = 3\,600 \text{ J}$.

3 Énergie électrique disponible dans une batterie

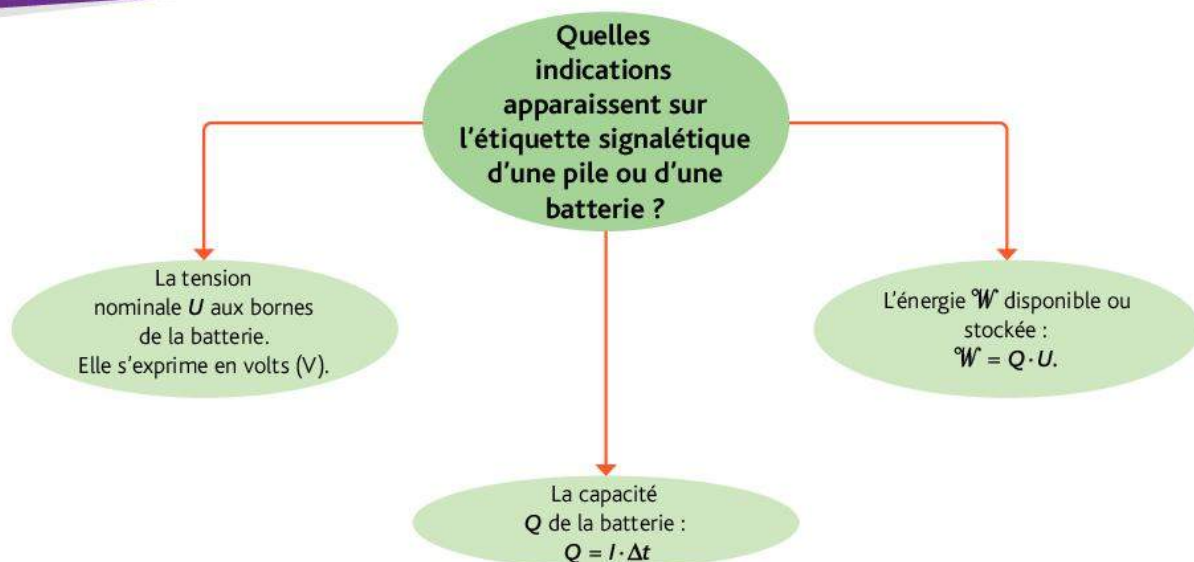
- L'**énergie W disponible** ou stockée dans une batterie de tension nominale U et de capacité Q est : $W = Q \cdot U$.
Avec : W en joules (J) ; Q en coulombs (C) ;
 U en volts (V).

- La **densité énergétique** de la batterie est la quantité d'énergie stockée par unité de masse ou de volume. Elle s'exprime en $\text{W} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$ ou en $\text{W} \cdot \text{h} \cdot \text{L}^{-1}$.

A. Piles et accumulateurs



B. Caractéristiques des piles et accumulateurs



Questions flash  Pour chaque question, trouver la ou les bonne(s) réponse(s).



CORRIGÉS p. 300-304

- 1** Lorsqu'un accumulateur se charge il convertit une...
- a. énergie chimique en énergie électrique.
 - b. énergie chimique en énergie mécanique.
 - c. énergie électrique en énergie chimique.

- 2** Une pile à combustible rejette...
- a. du dioxyde de carbone et de l'eau.
 - b. uniquement de l'eau.
 - c. des particules fines et du dioxyde de carbone.

- 3** L'unité de la capacité d'une pile ou d'un accumulateur est le...
- a. wattheure ($W \cdot h$).
 - b. watt (W).
 - c. ampère-heure ($A \cdot h$).

- 4** La relation permettant de calculer l'énergie disponible dans une pile ou un accumulateur est...
- a. $W = Q \cdot U$.
 - b. $W = \frac{Q}{U}$.
 - c. $Q = \frac{W}{U}$.

- 5** La technologie des piles ayant une densité énergétique la plus grande est...
- a. la technologie lithium-ion.
 - b. la technologie saline.
 - c. la technologie alcaline.

- 6** $1 W \cdot h$ vaut...
- a. 360 J.
 - b. 3 600 J.

Vrai ou Faux ? Pour chaque proposition, déterminer si elle est vraie ou fausse.

- 1** Une pile convertit une énergie chimique en énergie électrique.
- 2** On peut recharger un accumulateur indéfiniment.
- 3** La recharge d'un accumulateur est spontanée.
- 4** Une pile de capacité $2,5 A \cdot h$ et de tension $1,5 V$ dispose d'une énergie de $3,75 W \cdot h$.
- 5** Une pile de masse $15 g$ et de densité énergétique $2\,690 W \cdot h \cdot kg^{-1}$ dispose d'une énergie de $40 W \cdot h$.
- 6** Un accumulateur de capacité $2\,000 mA \cdot h$ alimentant une charge appelant un courant de $10 mA$ se décharge au bout 5 jours.
- 7** Une capacité de $2 A \cdot h$ est équivalente à $360 C$.

A Piles et accumulateurs

1 Pile ou accumulateur ?

En 1805, le physicien et physiologiste allemand Johann W. Ritter découvre le principe de la pile rechargeable. Il construit une colonne faite de plaquettes de cuivre séparées par des disques de cuivre et imprégnées d'une solution salée, qu'il raccorde à une colonne de Volta. Il observe que sa colonne se charge et que ce processus peut être répété à plusieurs reprises. C'est la naissance de l'accumulateur. En 1859, Gaston Planté réalise le premier accumulateur au plomb que l'on trouve aujourd'hui dans les batteries automobiles.



1. Expliquer la différence entre une pile et un accumulateur.
2. Citer un type de pile et un type d'accumulateur.
3. Quelle conversion énergétique effectue une pile ?

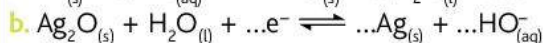
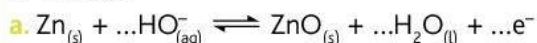
2 Demi-équations d'oxydoréduction

Écrire les demi-équations d'oxydoréduction pour chaque couple ci-dessous.

$\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}$; Li^+ / Li ; $\text{Al}^{3+} / \text{Al}$; Ag^+ / Ag ; $\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}$.

3 Couples oxydant/réducteur

1. Équilibrer les demi-équations d'oxydoréduction ci-dessous.



2. Écrire les couples oxydant/réducteur correspondant à chaque demi-équation.

B Caractéristiques des piles et accumulateurs

4 Durée de fonctionnement d'une pile

Une pile zinc/oxyde d'argent alimente une montre. L'intensité du courant appelée par celle-ci vaut $31 \mu\text{A}$.



Modèle	SR44SW
Technologie	Zinc/oxyde d'argent/ électrolyte alcalin
Tension nominale (V)	1,55
Capacité nominale (mA · h)	165
Dimensions	Ø 11,60 × 6,60
Gamme de température (°C)	Min Max - 10 + 60
Poids moyen	2,5 g

1. Quelle est la capacité de la pile ?
2. Calculer la durée de fonctionnement de la pile.

5 Caractéristiques d'une batterie d'accumulateurs

On considère une batterie au plomb dont les caractéristiques sont données ci-dessous.



44 Ah 12 V
44 A

1. Indiquer la signification des trois valeurs inscrites sur la batterie.
2. Calculer l'énergie disponible dans la batterie.

6 La densité énergétique d'une batterie

La batterie lithium-ion de téléphone Samsung EB-BG360BBE dispose d'une énergie de $7,7 \text{ W} \cdot \text{h}$. Ce type de batterie possède une énergie massique de $230 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$.

1. Calculer la masse de cette batterie lithium-ion.
2. Calculer la masse de la batterie si elle était de technologie nickel-cadmium, sachant que l'énergie massique de ces batteries vaut en moyenne $50 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$.
3. En quoi les accumulateurs lithium-ion ont-ils révolutionné l'électronique portable ?

7 Recharge d'une batterie d'accumulateurs lithium-ion

On étudie la charge d'une batterie lithium alimentée par un générateur délivrant un courant d'intensité $2,0 \text{ A}$. La batterie est entièrement chargée au bout d'1h30. Les demi-équations d'oxydoréduction ayant lieu lors de la recharge de la pile sont :

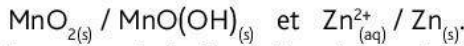
- sur l'électrode négative en graphite $\text{Li}^+ + e^- \rightarrow \text{Li}$;
- sur l'électrode positive en oxyde de cobalt $\text{CoLiO}_2 \rightarrow \text{CoO}_2 + \text{Li}^+ + e^-$.

1. Quelle électrode est la cathode ? L'anode ?
2. En déduire le sens de déplacement des électrons et le sens du courant lorsque la batterie se recharge.
3. Calculer la capacité de la batterie.

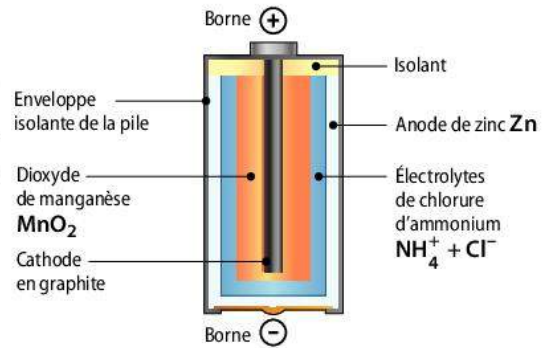


8 Fonctionnement d'une pile saline

Une pile saline est schématisée ci-contre. Sa capacité vaut $800 \text{ mA}\cdot\text{h}$, sa tension $1,5 \text{ V}$ et sa masse 20 g . Le fabricant annonce une densité énergétique de $70 \text{ W}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}$ pour cette pile. Les couples oxydant/réducteur mis en jeu dans la réaction chimique sont :



1. Pour chaque couple, indiquer l'oxydant et le réducteur.
2. Écrire les demi-équations d'oxydoréduction aux électrodes.
3. Écrire l'équation de la réaction globale.
4. Calculer la masse minimale de zinc contenue dans cette pile.
5. Calculer l'énergie disponible dans la pile.
6. La densité énergétique donnée par le fabricant est-elle juste ?



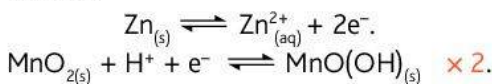
Données

- Constante de Faraday : $F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$.
- Masse molaire : $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.
- $1 \text{ A}\cdot\text{h} = 3\,600 \text{ C}$.

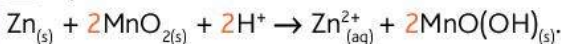
RÉSOLUTION DÉTAILLÉE

1 MnO_2 : oxydant, $\text{MnO}(\text{OH})$: réducteur,
 Zn^{2+} : oxydant, Zn : réducteur.

2 Demi-équations d'oxydoréduction aux électrodes :



3 Équation de la réaction :



4 Nombre de moles d'électrons :

$$n_e = \frac{Q}{F} = \frac{(0,800 \times 3\,600)}{9,65 \cdot 10^4} = 2,98 \cdot 10^{-2} \text{ mol.}$$

• Nombre de moles de zinc d'après la demi-équation :

$$n_{\text{Zn}} = \frac{n_e}{2} = \frac{2,98 \cdot 10^{-2}}{2} = 1,49 \cdot 10^{-2} \text{ mol.}$$

• Masse minimale de zinc :

$$m_{\text{Zn}} = M(\text{Zn}) \times n_{\text{Zn}} = 65,4 \times 1,49 \cdot 10^{-2} = 0,974 \text{ g.}$$

5 Énergie disponible

$$W = Q \cdot U = 0,8 \times 1,5 = 1,2 \text{ W}\cdot\text{h.}$$

6 Densité énergétique de la pile :

$$\frac{1,2}{0,020} = 60 \text{ W}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}.$$

La densité calculée est inférieure à celle annoncée par le fabricant.

À vous de jouer

9 Fonctionnement d'une pile nickel-métal hydrure

Répondre aux mêmes questions avec une pile nickel-métal hydrure.

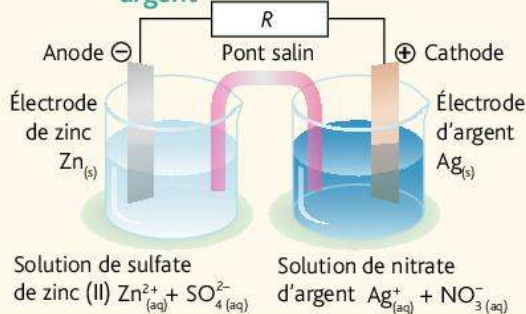
Données

- Couples oxydant réducteur : M/MH et $\text{NiO}(\text{OH})/\text{Ni}(\text{OH})_2$.
 - La réaction a lieu en milieu basique (HO^-).
 - La pile a une capacité de $1\,300 \text{ mA}\cdot\text{h}$, une tension de $1,2 \text{ V}$ et une masse de 23 g .
 - Densité énergétique donnée par le fabricant $70 \text{ W}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}$.
 - $M(\text{Ni}) = 58,7 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ $M(\text{H}) = 1,00 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ $F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Remarque : M désigne le métal et MH l'hydrure de métal.

10 Pile zinc-argent

» S'approprier • Réaliser

DOC. 1 Schéma de principe de la pile zinc-argent



1. Identifier sur le schéma le sens du courant.
2. En déduire le sens de déplacement des électrons.
3. Donner le nom de l'élément chimique qui s'oxyde. En déduire la demi-équation d'oxydoréduction à cette électrode.
4. Quel élément chimique se réduit ? En déduire la demi-équation d'oxydoréduction correspondante.
5. Écrire l'équation d'oxydoréduction de la pile zinc-argent.

11 Rendement d'une batterie lithium-ion

» S'approprier • Réaliser • Analyser

La batterie d'ordinateur HP 687945-001, de technologie lithium-ion, possède une énergie disponible de $52,0 \text{ W} \cdot \text{h}$ une capacité de $3,55 \text{ A} \cdot \text{h}$ et un rendement de 90 %.

1. Quelle conversion énergétique une batterie lithium-ion réalise-t-elle lorsqu'elle se décharge ?
2. Calculer l'énergie chimique disponible dans la batterie.
3. Sous quelle forme l'énergie perdue se dissipe-t-elle ?
4. Sachant que la tension aux bornes d'un accumulateur lithium-ion vaut 3,60 V, déterminer le nombre d'accumulateurs constituant cette batterie.

12 Pile D lithium-chlorure de thionyle

Application technologique

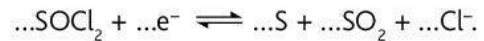
» S'approprier • Réaliser • Communiquer

La pile D lithium-chlorure de thionyle a une tension de 3,60 V, une énergie volumique de $895 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{L}^{-1}$

et une forme cylindrique de dimensions suivantes : hauteur 59,0 mm, diamètre 33,6 mm.

Dans cette pile, le lithium (Li) réagit avec le chlorure de thionyle (SOCl_2) pour former du soufre (S) et du dioxyde de soufre (SO_2).

1. Compléter les demi-équations d'oxydoréduction mises en jeu dans cette pile.



2. Écrire l'équation de la réaction chimique.
3. Calculer le volume de la pile en m^3 , puis en L.
4. Calculer l'énergie stockée dans la pile.
5. Le lithium réagit vivement avec l'eau et le chlorure de thionyle présente également des risques. Quel conseil peut-on donner à un utilisateur ayant une pile usagée ?

13 Pile à combustible Application technologique

» S'approprier • Réaliser • Analyser

La société MyFC propose une batterie externe (JAQ hybrid) sur laquelle on peut recharger un smartphone.



Cette batterie possède une fonctionnalité bien particulière, puisqu'en plus de sa fonction de batterie classique (capacité : $2\,750 \text{ mA} \cdot \text{h}$), elle a la spécificité de pouvoir être rechargée sans électricité. En effet, elle possède une cartouche contenant de l'eau et une solution saline permettant la réaction nécessaire à la création d'hydrogène, transformé en électricité grâce à une pile à combustible. La carte de recharge est très légère (40 g) et elle est capable de fournir $1\,250 \text{ mA} \cdot \text{h}$ en quelques minutes.

Couple oxydant/réducteur mis en jeu : $\text{H}^+/\text{H}_{2(\text{g})}$ et $\text{O}_{2(\text{g})}/\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$.

1. Écrire les demi-équations d'oxydoréduction mises en jeu dans la pile à combustible.
2. Quel élément chimique est oxydé ?
3. Écrire l'équation de réaction ayant lieu dans la pile à combustible.
4. Calculer la durée d'utilisation de la pile à combustible sachant que l'intensité du courant dans le smartphone vaut en moyenne 20 mA.



14 Pile d'un appareil auditif

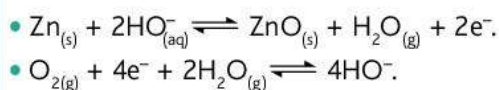
» S'approprier • Réaliser • Valider

Pour alimenter un appareil auditif on utilise une pile de technologie zinc-air 12PR41 qui possède les caractéristiques suivantes :

Tension	1,45 V
Capacité	180 mA·h
Dimensions	3,6 mm × 7,9 mm
Masse	0,58 g
Prix	0,30 euros
Intensité du courant appelé	1,5 mA



L'électrolyte de la pile zinc-air est basique, il y a présence d'ions HO^- . Les deux demi-équations électroniques modélisant les réactions à chacune des électrodes sont :



1. Expliquer pourquoi les piles zinc-air sont « bon marché ».

Parcours A

- Sachant que l'appareil auditif est utilisé 10 h par jour, calculer le nombre de jours au bout desquels la pile sera complètement déchargée.
- Calculer l'énergie contenue dans la pile. En déduire l'énergie massique de la pile.

Parcours B

- Déterminer les deux couples oxydant/réducteur mis en jeu dans la batterie zinc-air.
- Écrire l'équation de la réaction chimique.
- Calculer le nombre de moles d'électrons disponible dans la pile zinc-air.
- Calculer la masse de zinc contenue dans la pile zinc-air.
- Sachant que l'appareil auditif est utilisé 10 h par jour, calculer le nombre de jours au bout desquels la pile sera complètement déchargée.

7. Calculer l'énergie contenue dans la pile. En déduire l'énergie massique de la pile.

Données

$1 \text{ A} \cdot \text{h} = 3\,600 \text{ C}$; Constante de Faraday : $9,65 \cdot 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

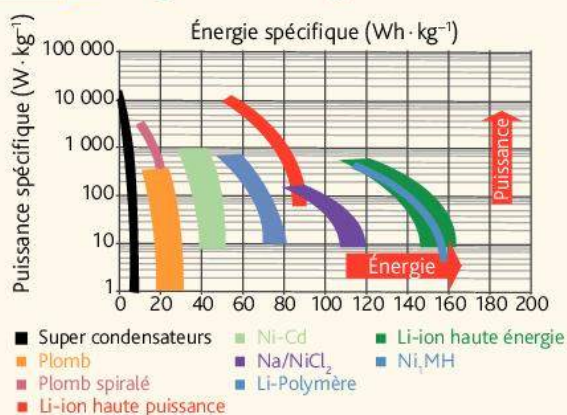
15 Choix de la technologie d'une batterie

Application technologique

» S'approprier • Analyser • Réaliser • Valider

Le diagramme de Ragone permet de comparer la puissance d'une batterie en fonction de son énergie et ainsi de choisir la plus adaptée pour chaque utilisation.

DOC. 1 Diagramme de Ragone



Source : Anne de Guibert (SAFT)

1. En vous aidant du diagramme de Ragone, justifiez le choix des batteries d'accumulateurs au plomb dans les voitures thermiques.

Les caractéristiques de la batterie alimentant la voiture électrique Renault Zoé sont données ci-dessous :

Masse	305 kg
Énergie	41 kW·h
Puissance	50 kW
Autonomie	390 km

2. Calculer la puissance spécifique et l'énergie spécifique de la batterie de la voiture Renault Zoé.

3. Placer le point de fonctionnement sur le diagramme de Ragone. En déduire la technologie à utiliser pour une batterie de la voiture Renault Zoé.

16 Recharger la batterie d'accumulateurs au plomb

» S'approprier • Analyser • Valider

Roxane souhaite recharger la batterie de son véhicule, mais elle se demande quel chargeur de batterie choisir.

Les caractéristiques de sa batterie sont 12 V, 64 A·h, 640 A.

Type de chargeur	Noco	Mascot	1 ^{er} prix
Tension	6 V - 12 V	24 V	6 V - 12 V
Courant	1,1 A	10 A	4,0 A
Pour batterie <	10 A·h	240 A·h	80 A·h

1. Quelle conversion énergétique réalise une batterie au plomb lorsqu'elle se charge ?
2. Quel chargeur de batterie doit-elle choisir parmi les trois qui lui sont proposés ? Justifier.
3. Calculer l'énergie disponible dans la batterie.

17 Tension aux bornes d'une batterie

Liens avec les maths

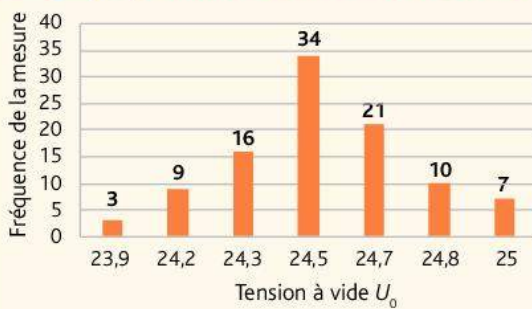
Mesure et incertitudes

» S'approprier • Analyser • Réaliser

Afin de déterminer la tension à vide d'une batterie d'accumulateurs, on a mesuré 100 fois cette grandeur à l'aide d'un voltmètre.

Les résultats sont présentés sous forme d'histogramme. Sur l'axe des abscisses est indiquée la tension à vide mesurée et sur l'axe des ordonnées la fréquence de la mesure.

DOC. Répartition des mesures de tension



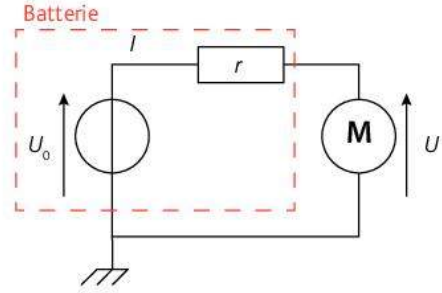
1. Calculer la valeur moyenne de la tension à vide U_0 .
2. Calculer l'écart type expérimental lié à la mesure de la tension à vide. En déduire un encadrement de la tension à vide.

La batterie alimente le moteur électrique d'un vélo à assistance électrique et débite une intensité de courant égale à 10,0 A.

Les caractéristiques de la batterie d'accumulateurs sont :

- Tension à vide U_0 : 24,5 V.
- Résistance interne r : 50,0 m Ω .
- Capacité : 10,0 A·h.

Le schéma électrique de l'association batterie/moteur est représenté ci-dessous.



3. Calculer la tension U aux bornes du moteur électrique.
4. Calculer l'énergie consommée (en joules) par le moteur en 30 min.
5. Calculer l'énergie perdue dans la batterie en 30 min. Sous quelle forme se dissipe cette énergie ?

18 Pile d'un détecteur de fumée

Application technologique

» S'approprier

La pile d'un détecteur de fumée doit être changée. Les caractéristiques des piles et du détecteur sont données ci-dessous. Aidez le technicien à choisir la pile afin que ses caractéristiques soient compatibles avec celles du détecteur de fumée.

DOC. 1 Caractéristiques du détecteur de fumée

Consommation électrique « Veille »	200 μ A
Consommation électrique « Alarme »	20 mA
Tension alimentation	1,5 V
Durée de vie minimale	2 ans

DOC. 2 Caractéristiques des piles

Pile	Tension	Densité d'énergie	Masse	Capacité	Prix (€)
Lithium-disulfure de fer	1,5 V	1,60 MJ·kg ⁻¹	15 g	...	2
Alcalines	1,5 V	160 W·h·kg ⁻¹	23 g	...	0,5
Salines	1,5 V	150 W·h·L ⁻¹	32 g	1,5 A·h	0,3

Donnée

$$1 \text{ W} \cdot \text{h} = 3\,600 \text{ J.}$$

1. Calculer pour chaque pile l'énergie électrique disponible.
2. Calculer la puissance consommée par le détecteur de fumée.
3. En déduire la pile que le technicien doit choisir.

19 Pile à combustible du bus Fébus



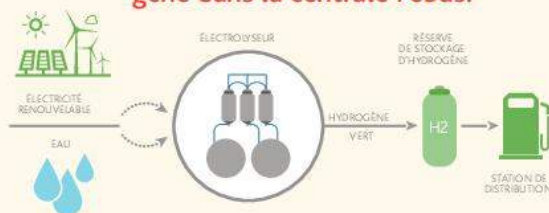
Fébus est le nouveau bus de l'agglomération de Pau. Son mode de propulsion écologique fonctionnant avec une pile à hydrogène en fait le premier bus à haut niveau de service au monde.

DOC. 1 Dossier de presse du bus Fébus.

L'hydrogène n'est pas une source d'énergie directe mais plutôt un vecteur énergétique. Il est considéré comme un moyen durable de stocker l'énergie, en particulier l'électricité issue des énergies renouvelables. La pile à combustible du Fébus utilise le dihydrogène et l'associe au dioxygène contenu dans l'air pour générer de l'électricité et ne rejeter que l'eau. C'est donc une énergie propre, sans aucune émission polluante ni gaz à effet de serre.

<https://www.pau.fr/2019>

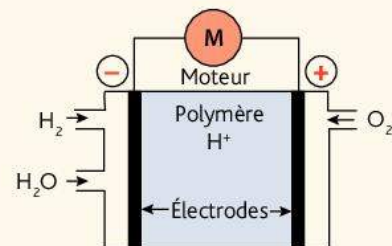
DOC. 2 Moyen de production du dihydrogène dans la centrale Fébus.



DOC. 3 Caractéristiques du bus à hydrogène Fébus.

Longueur	18 m 23
Largeur	2 m 55
Hauteur	3 m 40
Masse H ₂ dans les réservoirs	30 kg
Temps de recharge	10 min
Puissance de la pile	100 kW
Puissance moteur électrique	200 kW

DOC. 4 Schéma de la pile à combustible.



Données

- Couples oxydant/réducteur mis en jeu : $H^+/H_{2(g)}$ et $O_{2(g)}/H_2O_{(l)}$
- Masses molaires : $M(H) = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(O) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. **S'approprier** Expliquer la phrase « L'hydrogène n'est pas une source d'énergie directe mais plutôt un vecteur énergétique. »
2. **Analyser** À quelle condition la pile à combustible peut-elle être un moyen écologique pour produire de l'électricité ?
3. **Raisonner** Sur le doc. 4, préciser le nom et le signe de chaque électrode, indiquer le sens de circulation du courant électrique et celui des électrons.
4. **Réaliser** Écrire l'équation d'oxydoréduction de la réaction se produisant dans une pile à combustible.
5. **Réaliser** Calculer la masse d'eau rejetée lorsque le bus a consommé tout le dihydrogène.
6. **Réaliser - Valider** Déterminer la capacité de la pile à hydrogène.

Mini-projet d'application

Comment réaliser un chargeur et testeur de batterie LiPo avec Arduino ?



Cahier des charges à suivre

- ➔ Déterminer les caractéristiques d'une batterie LiPo.
- ➔ Fonctionnement de la carte de gestion de charge : « Baby-sitter Battery ».
- ➔ Réalisation, avec Arduino, du chargeur de batterie LiPo avec un indicateur Led permettant de connaître le taux de charge.



Présentation de la carte « Baby-sitter » (2 min 20)



DOC. 1 « Baby-sitter Battery » - module de charge et de surveillance pour batterie LiPo.

Module de charge et de surveillance pour batterie LiPo comportant un chargeur et un moniteur de batterie permettant de garder sa batterie chargée et de visualiser son état. Ce module communique avec un microcontrôleur type Arduino ou compatible via le bus I2C. Un switch ON-OFF permet de déconnecter la batterie du module.



DOC. 3 Led RGB 5 mm.

Led multicolore RVB à cathode commune. Boîtier transparent.



- 1 : bleu
- 2 : vert
- 3 : cathode
- 4 : rouge

DOC. 2 Batterie LiPo.

Caractéristiques

- Tension : 3,7 Vcc.
- Intensité : 1 000 mA · h.
- Courant de décharge maxi : 2 100 mA.
- Connecteur : 2 broches type JST.
- Dimensions : 34,5 × 52,5 × 6,2 mm.
- Longueur du câble : 100 mm.
- Poids : 19 g.



Vers le grand oral

Les batteries, leur autonomie, leur temps de charge et leur empreinte environnementale sont un enjeu majeur pour les industriels. Renseignez-vous sur les différentes technologies (Li-ion, Sodium-ion, etc.) et les techniques de fabrication.

S'approprier le projet avant de commencer

- 1 Quelles sont les caractéristiques d'une batterie LiPo ?
- 2 Quels sont les réglages à effectuer sur la carte pour l'adapter aux caractéristiques de la batterie ?
- 3 Comment fonctionne une Led RGB ?

Se préparer

et réviser les acquis de 1^{re}

Pour l'enseignant

↓ Diaporama des questions flash

3

Questions flash



CORRIGÉS p. 300-304

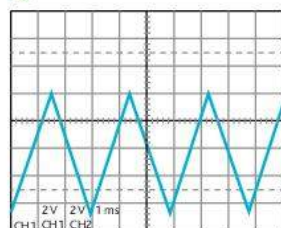
Pour chaque question, trouver la ou les bonnes réponses.

1 Le courant électrique dans un conducteur est dû...

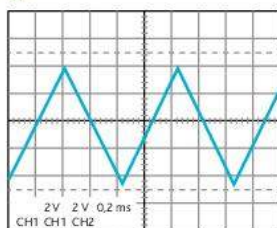
- a. à un déplacement d'électrons.
- b. à un déplacement d'ions.
- c. à un déplacement d'atomes.

2 Indiquer quelle tension est alternative sachant que le 0 V est au centre de l'écran...

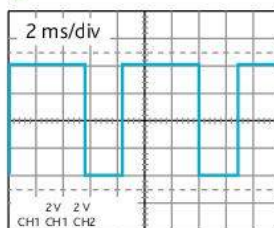
a.



b.



c.



3 La période de la tension représentée sur l'oscillogramme c. précède vaut...

- a. 3 ms.
- b. 6 ms.
- c. 8 ms.

4 La fréquence de la tension représentée sur l'oscillogramme c. de la question 2 vaut...

- a. 0,125 Hz.
- b. 125 Hz.
- c. 12,5 Hz.

5 La valeur efficace d'une tension alternative se mesure...

- a. avec un voltmètre en mode DC.
- b. avec un voltmètre en mode AC.
- c. avec un voltmètre RMS en mode AC+DC.

Capacités exigibles

- Modéliser une tension sinusoïdale ou un courant sinusoïdal.
- Dimensionner une installation électrique.
- Définir et mesurer une puissance active à l'aide d'un outil numérique.
- Définir et mesurer une puissance apparente.
- Définir et mesurer un facteur de puissance.

Activités 1 3

Activité 2

Activités 3 4

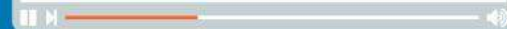
Activité 4

Activité 4

L'énergie électrique



Reportage : Comment fonctionnent les voitures électriques ? (10 min)



L'énergie est un enjeu pour demain, l'électricité semble être l'une des solutions pour relever les défis environnementaux : en développant les voitures électriques, minimisant la consommation des appareils... Mais comment peut-on la caractériser ?

Liens avec les maths

- Fonctions périodiques et trigonométriques.
- Nombres complexes.
- Exploitation de courbes.

Activités **1 3**

Exercices **6 9 10**

Activités **1 3**

Activités



- 1 Brancher un appareil électrique
- 2 Installer l'éclairage de sa salle de bain
- 3 Quelle puissance un moteur alternatif consomme-t-il ?
- 4 Comment gérer la consommation électrique d'une installation domestique ?

documentaire

documentaire

expérimentale

expérimentale

1 Brancher un appareil électrique

ACTIVITÉ 1

Capacité Modéliser une tension sinusoïdale ou un courant sinusoïdal.

Objectif Savoir si l'on peut brancher un appareil électrique sur un réseau électrique étranger.

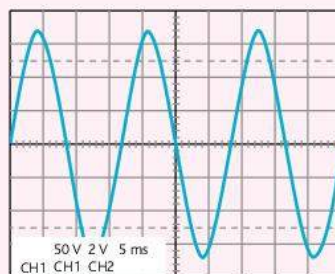
En voyage ou lors d'un déménagement à l'étranger, on peut être amené à brancher des appareils électriques français sur des réseaux électriques d'autres pays. Mais l'appareil fonctionnera-t-il ? De façon optimale ? Jules a déménagé aux États-Unis, il a apporté dans ses bagages son sèche-cheveux, il se demande s'il peut le brancher directement sur le réseau électrique nord-américain.



DOC. 1 Plaque signalétique du sèche-cheveux.



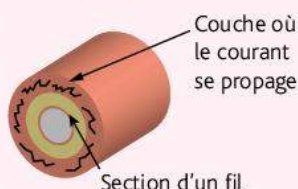
DOC. 2 Oscillogramme de la tension du secteur aux États-Unis (voie 1).



DOC. 3 Effet de peau.

L'augmentation de la fréquence d'un courant alternatif génère une résistance lors du transport du courant par effet Kelvin ou « effet de peau », ce qui génère une perte d'énergie par échauffement du fil.

En hautes fréquences, au lieu d'utiliser la totalité de la section du fil conducteur, le courant circule majoritairement dans les couches proches de la surface.



Liens avec les maths

La fonction sinusoïdale :
 $y(x) = \hat{Y} \cdot \sin(x)$;
 $u(t) = \hat{U} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$.

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

- 1 » **S'approprier** Que représentent les valeurs 220-230 V, 50 Hz, 2 160 W inscrites sur la plaque signalétique du sèche-cheveux ?
- 2 » **Réaliser** Mesurer la période de la tension du réseau américain. En déduire la fréquence.
- 3 » **Réaliser** Mesurer l'amplitude de la tension du réseau américain. En déduire sa valeur efficace.
- 4 » **Valider** Jules peut-il brancher son sèche-cheveux français sur le réseau électrique nord-américain ? Quelles en seront les conséquences ?
- 5 » **Analyser** Proposer une écriture mathématique de la tension du réseau américain.
- 6 » **Communiquer** (À l'oral) En vous aidant du doc. 3, expliquer pourquoi la France a adopté le réseau 230 V / 50 Hz.

Conclusion

Peut-on brancher un appareil électrique sur un réseau étranger ?

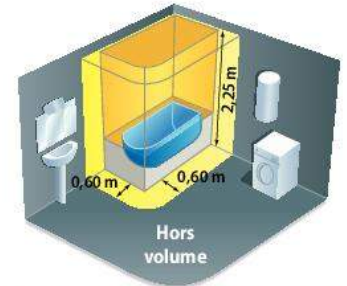
2 Installer l'éclairage de sa salle de bain

ACTIVITÉ

Capacité Dimensionner une installation ou un équipement électrique.

Objectif Étudier les caractéristiques d'une installation électrique.

Prune souhaite installer au-dessus de sa baignoire des spots encastrables et une VMC. Elle possède un ancien transformateur et se demande si elle pourra le réutiliser pour alimenter le moteur de la VMC et les spots.



Volume 0 Volume 1 Volume 2

Pour l'enseignant
Grille d'auto-évaluation

DOC. 1 Norme pour une installation électrique dans une salle de bain NF C 15-100.

• Volume 1 : de fortes restrictions

Le Volume 1 est constitué par la zone de projection d'eau qui se trouve au-dessus du Volume 0.

Les seuls équipements électriques qui y sont acceptés sont de type IPX5 :

- un éclairage ou un interrupteur TBTS 12 V ;
- un chauffe-eau instantané de Classe I.

• Volume 2 : des possibilités plus larges

Les seuls équipements électriques qui y sont acceptés sont de type IPX4, notamment :

- un éclairage ou un interrupteur TBTS 12 V ;
- un chauffage électrique ou un éclairage de Classe II ;
- un chauffe-eau instantané ou à accumulation de Classe I ;
- une prise rasoir 20 à 50 VA avec transformateur de séparation.

DOC. 2 Plaque signalétique du transformateur.



DOC. 3 Caractéristiques du moteur de la VMC.

Type d'aérateur	Intermittent
Usage	Salle de bain
Débit	95 m ³ /h
Largeur	158 mm
Tension	12 V
Intensité du courant	1,5 A
Facteur de puissance	0,75

DOC. 4 Caractéristiques des spots.

Angle de diffusion	Température de couleur	Durée de vie	Flux lumineux	Consommation	Dimensions	Garantie
110°	Blanc chaud – 2 800 K	25 000 heures	560 lumens	7 watts	Diamètre 45 mm Hauteur 78 mm	2 ans

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **S'approprier** Pourquoi Prune doit-elle installer un transformateur électrique pour alimenter les spots et le moteur électrique de la VMC (doc. 1) ?

2 » **Réaliser** Représenter le schéma électrique de l'installation.

3 » **Analyser** Que représentent les valeurs 220 V, 50 Hz, 12 V, 60 VA inscrites sur la plaque signalétique du transformateur ?

4 » **Réaliser** Calculer la puissance active consommée par le moteur de la VMC.

5 » **Réaliser** - **Valider** Combien Prune peut-elle brancher au maximum de spots sur le transformateur sachant que ce dernier doit aussi alimenter le moteur de la VMC ?

Conclusion

Quelles grandeurs permettent de dimensionner une installation électrique ?

Quelle puissance un moteur alternatif consomme-t-il ?

Capacités

- Modéliser une tension sinusoïdale ou un courant sinusoïdal.
- Définir et mesurer une puissance active à l'aide d'un outil numérique.

Objectif du TP

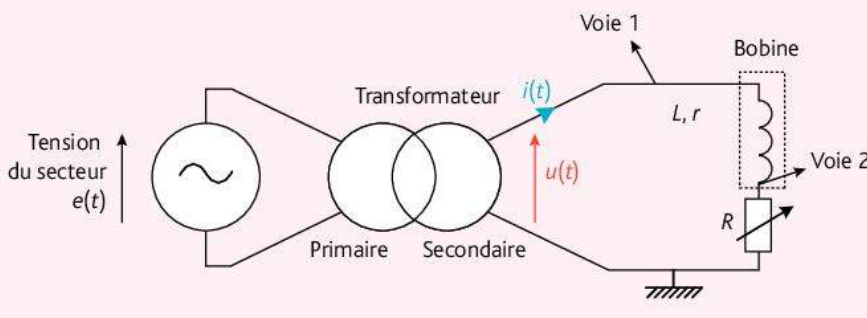
Étudier les caractéristiques de la tension alimentant les enroulements du stator d'un moteur alternatif et définir la puissance active qu'il consomme.

Le stator d'un moteur à courant alternatif est constitué de bobinage de cuivre, il transforme l'énergie électrique en énergie magnétique.

Remarque : pour simplifier l'étude, les enroulements du moteur à courant alternatif sont modélisés par une bobine en série avec une résistance.



DOC. 1 Schéma de l'installation.



MATÉRIEL

- Un transformateur monophasé 230 V / 6 V.
- Un système d'acquisition de tensions.
- Une bobine d'inductance $L = 0,15 \text{ H}$ et de résistance propre r .
- Un rhéostat $R = 33 \Omega$.
- Des cordons de sécurité.
- Un multimètre.

ÉTAPE 1 Modéliser une tension sinusoïdale

1. Proposer un protocole pour visualiser $u(t)$, la tension aux bornes du secondaire du transformateur.
2. Mesurer la période, la fréquence et la valeur maximale de $u(t)$.
3. En déduire l'expression mathématique modélisant la tension $u(t)$ aux bornes du secondaire du transformateur.

Aide

Une tension sinusoïdale peut être décrite par une fonction mathématique :

$$u(t) = \hat{U} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t).$$

ÉTAPE 2 Déterminer la puissance active à partir de la tension $u(t)$ et du courant $i(t)$

4. Réaliser le montage du schéma du doc. 1.
5. Appeler l'enseignant pour vérifier.
6. À l'aide du système d'acquisition, visualiser la tension $u(t)$ et l'image du courant $i(t)$.
7. Dans le logiciel d'acquisition, définir la variable puissance instantanée $p(t) = u(t) \cdot i(t)$. Visualiser la puissance instantanée $p(t)$. Quelle est sa forme ? Mesurer sa période.
8. Dans le logiciel d'acquisition, définir la puissance active P qui est égale à la valeur moyenne de la puissance $p(t)$.
9. Quelle est la puissance active P consommée par le circuit ?

Conclusion du TP

Quelle puissance est indiquée sur un équipement et que représente la puissance active d'un équipement ?

Comment gérer la consommation électrique d'une installation domestique ?



Capacités

- Définir et mesurer une puissance active à l'aide d'un outil numérique.
- Définir et mesurer une puissance apparente.
- Définir et mesurer un facteur de puissance.

Objectif du TP

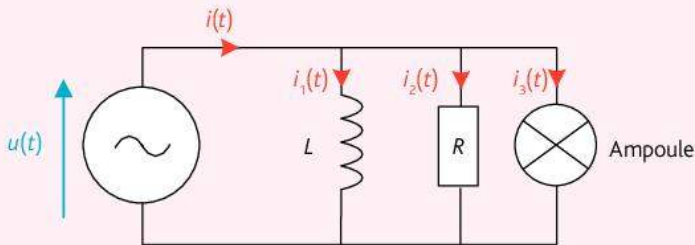
Mesurer la puissance active consommée par une installation et son facteur de puissance k .

La puissance active P est directement liée à l'énergie consommée et au coût. De plus, EDF impose un facteur de puissance k supérieur à 0,93 afin de limiter les pertes dans les lignes lors du transport de l'électricité.

L'installation étudiée dans cette activité se compose d'un moteur, d'une ampoule et d'un radiateur électrique. Pour des raisons pratiques, le moteur est remplacé par une bobine, et le radiateur électrique par un rhéostat.



DOC. 1 Schéma de l'installation.



MATÉRIEL

- Une bobine d'inductance 0,15 H.
- Une ampoule 6 V.
- Un rhéostat de 100 Ω .
- Un wattmètre monophasé numérique.
- Un transformateur monophasé 230 V / 6V.

DOC. 2 Relation donnant les puissances apparente et active pour un récepteur.

- Puissance active d'un récepteur : $P_1 = U \cdot I_1 \cdot k_1$.
- Puissance apparente d'un récepteur : $S_1 = U \cdot I_1$.

ÉTAPE 1 Mesure de la puissance active et du facteur puissance

1. Proposer un protocole pour mesurer la puissance totale P_T consommée par l'installation, le facteur de puissance k_T , la valeur efficace de la tension U et la valeur efficace I du courant.

Appeler l'enseignant pour vérifier la réponse donnée.

2. Câbler le circuit et effectuer les mesures.
3. Calculer la puissance apparente S_T consommée par l'installation et la comparer à celle inscrite sur le transformateur.
4. Quelle précaution doit-on prendre lors de l'utilisation d'un transformateur ?
5. Le facteur de puissance totale k_T répond-il à la norme imposée par EDF ?

ÉTAPE 2 Lien entre les puissances

6. Pour chaque appareil mesurer la puissance active P , la valeur efficace du courant I et le facteur de puissance k . Rassembler vos résultats dans un tableau.
7. Peut-on écrire que la puissance active totale $P_T = P_1 + P_2 + P_3$?
8. Peut-on écrire que la puissance apparente totale $S_T = S_1 + S_2 + S_3$?

Conclusion du TP

Comment mesure-t-on la puissance active d'une installation ?
Comment détermine-t-on le facteur de puissance d'une installation ?

A Grandeur sinusoïdale

COURS

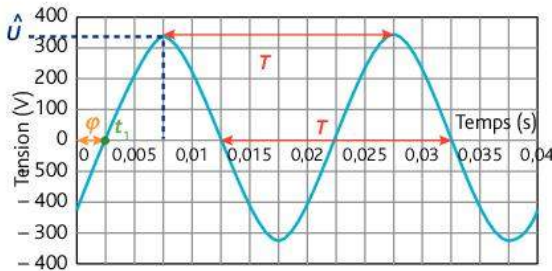
1 Caractéristiques d'une grandeur sinusoïdale

- Un courant (ou une tension) est **sinusoïdal** s'il peut être modélisé par une fonction mathématique **trigonométrique** (sinus ou cosinus).

- L'oscillogramme permet de déterminer :
 - l'amplitude ;
 - la période ;
 - la phase à l'origine ;
 - la fréquence ;
 - la pulsation ;
 - la valeur efficace.

- L'**amplitude** est la valeur maximale par rapport à 0.
 - Elle est notée \hat{U} et s'exprime en volts (V) ou \hat{I} en ampères (A).

Exemple : La tension a une amplitude \hat{U} de 325 V.



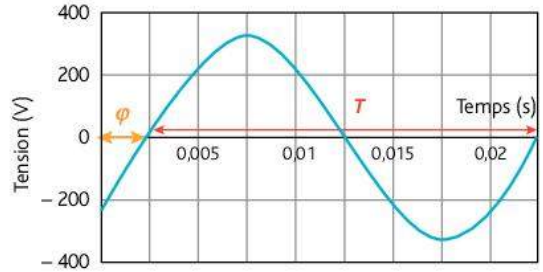
- La **période** est la durée d'un motif représentant la grandeur périodique.
 - Elle est notée T et s'exprime en secondes (s).

Exemple : La tension a une période T de 0,02 s.

- La **phase à l'origine des temps** est un angle.
 - Elle est notée φ et s'exprime en radians (rd).
 - Elle est non nulle lorsqu'à l'instant initial la courbe ne passe pas par 0.
 - Elle se calcule par la relation : $\varphi = -2\pi \cdot \frac{t_1}{T}$.
 - t_1 est l'instant (en s) où la grandeur sinusoïdale $u(t)$ est nulle (courbe croissante).

Exemple : La tension a une phase à l'origine de :

$$\varphi = -2\pi \cdot \frac{0,0025}{0,02} = -0,785 \text{ rad.}$$



- La **fréquence** est le nombre de périodes en 1 seconde.
 - Elle est notée f et s'exprime en hertz (Hz).
 - Elle est calculée à partir de la période par la relation $f = \frac{1}{T}$, avec T en s.

Exemple : La tension a une fréquence de :

$$f = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ Hz.}$$

- La **pulsation** est calculée à partir de la période ou de la fréquence par la relation :
 - $\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$.
 - Elle est notée ω et s'exprime en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$, avec f en Hz et T en s.

Exemple : La tension a une pulsation de :

$$\omega = 2\pi \cdot 50 = \frac{2\pi}{0,02} = 314 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}.$$

- La **valeur efficace** est calculée à partir de l'amplitude par la relation $U = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$.
 - Elle est notée U et s'exprime en volts (V) pour une tension.

Exemple : La tension a une valeur efficace de :

$$U = \frac{325}{\sqrt{2}} = 230 \text{ V.}$$

Lien vidéo



Voyage en électricité Ép. 4
« L'alternatif »
(5 min 23)





2 Modélisation d'une grandeur sinusoïdale

- Une grandeur sinusoïdale $u(t)$ peut être modélisée par une **fonction sinusoïdale** dont la variable est le temps.

→ Elle est notée t .

→ Cette expression est appelée « valeur instantanée ».

$$u(t) = \hat{U} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$u(t) = U \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t + \varphi)$$

Exemple : La fonction modélisant la tension $u(t)$ est :
 $u(t) = 325 \cdot \sin(314 \cdot t - 0,785)$.

- Cette tension peut être aussi modélisée par un **nombre complexe**.

→ Le nombre complexe associé à la grandeur sinusoïdale se note \underline{U} .

→ Son module est égal à la valeur efficace de $u(t)$ et son argument est égal à la phase à l'origine de $u(t)$.

→ Forme trigonométrique : $\underline{U} = [U ; \varphi]$.

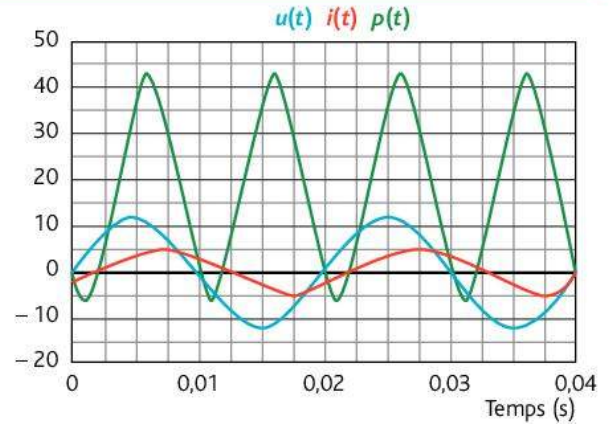
→ Forme algébrique : $\underline{U} = U \cdot \cos\varphi + jU \cdot \sin\varphi$.

Exemple : Le nombre complexe associé à $u(t)$ est
 $\underline{U} = [230 \text{ V} ; -0,785 \text{ rad}]$.

$$\begin{aligned} \underline{U} &= 230 \cdot \cos(-0,785) + j230 \cdot \sin(-0,785) \\ &= 163 - j163. \end{aligned}$$

Astuce

- Le nombre complexe est noté z et il est souligné.
- La lettre « j » est utilisée à la place de la lettre « i » pour marquer la partie imaginaire car « i » désigne déjà le courant.



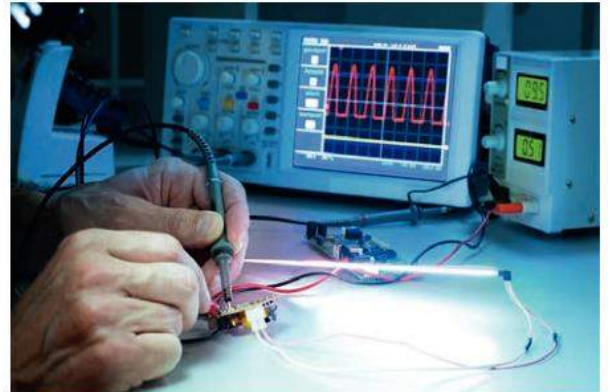
Liens avec les maths

- Forme trigonométrique :

$$\text{Module } \rho = \sqrt{a^2 + b^2}.$$

$$\text{Argument } \varphi \text{ avec : } \cos\varphi = \frac{a}{\rho}.$$

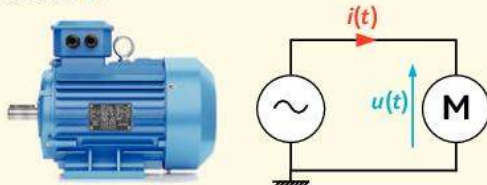
- Forme algébrique : $z = a + ib$.



B Puissances

1 Puissance instantanée

- La **puissance instantanée** $p(t)$, consommée par un dipôle est la puissance reçue à chaque instant t .



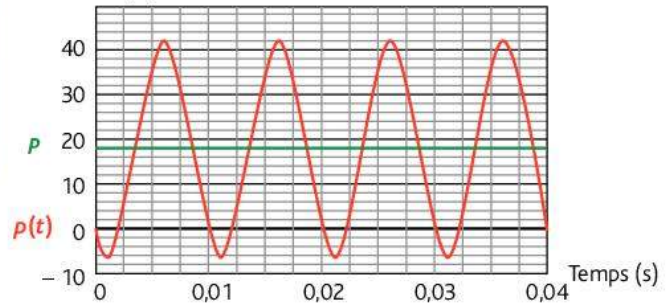
- Elle est égale au produit de la tension $u(t)$ à ses bornes par l'intensité du courant $i(t)$ le traversant à chaque instant t : $p(t) = u(t) \cdot i(t)$ (voir activité 3).

- En régime sinusoïdal, la puissance instantanée est de forme **sinusoïdale**. Sa fréquence est le double de la fréquence de la tension ou du courant.

2 Puissance active

- La **puissance active**, notée P , est la valeur moyenne de la puissance instantanée $p(t)$.
- L'unité de la puissance active est le watt (W).
- La puissance active se mesure avec un wattmètre (voir activité 4).

Puissance (W)



INFOS FLASH

- La puissance active consommée par une machine à laver vaut 2,2 kW.



- La puissance active des moteurs de la Tesla model 3 Long-Range dual motor vaut 340 kW.



- La puissance active produite par l'alternateur d'une centrale nucléaire vaut 900 MW.



3 Puissance apparente

- La puissance apparente, notée S , est égale au produit des valeurs efficaces de la tension U et de l'intensité I du courant :

$$S = U \cdot I.$$

Avec U , valeur efficace de la tension (en V) et avec I valeur efficace du courant (en A).

- L'unité de la puissance apparente est le volt-ampère (VA). C'est une grandeur de dimensionnement d'une installation ou d'un équipement électrique.

Exemple : La puissance apparente du transformateur ci-dessous est égale à 60 VA.



4 Facteur de puissance d'un récepteur

- Le facteur de puissance, noté k , est le rapport entre la puissance active P et la puissance apparente S d'un récepteur :

$$k = \frac{P}{S}$$

avec P en W et S en VA, k n'a pas d'unité.

Exemple : Pour un radiateur électrique, $k = 1$. Pour un moteur électrique, $k = 0,8$.

Astuce

La puissance active P s'exprime en fonction du facteur de puissance :

$$P = U \cdot I \cdot k.$$

INFOS FLASH

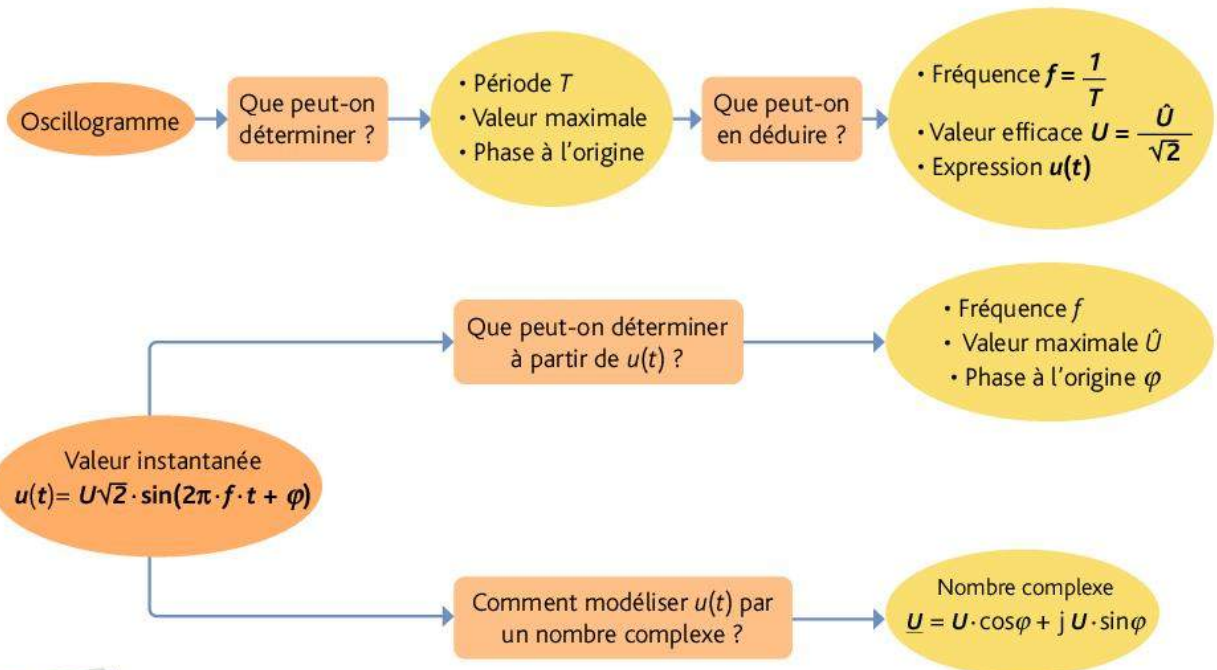
La valeur efficace du courant I est d'autant plus faible que le facteur de puissance k est grand. EDF impose pour une installation un facteur de puissance minimal de 0,93 afin de limiter les pertes dans les lignes.

INFOS FLASH

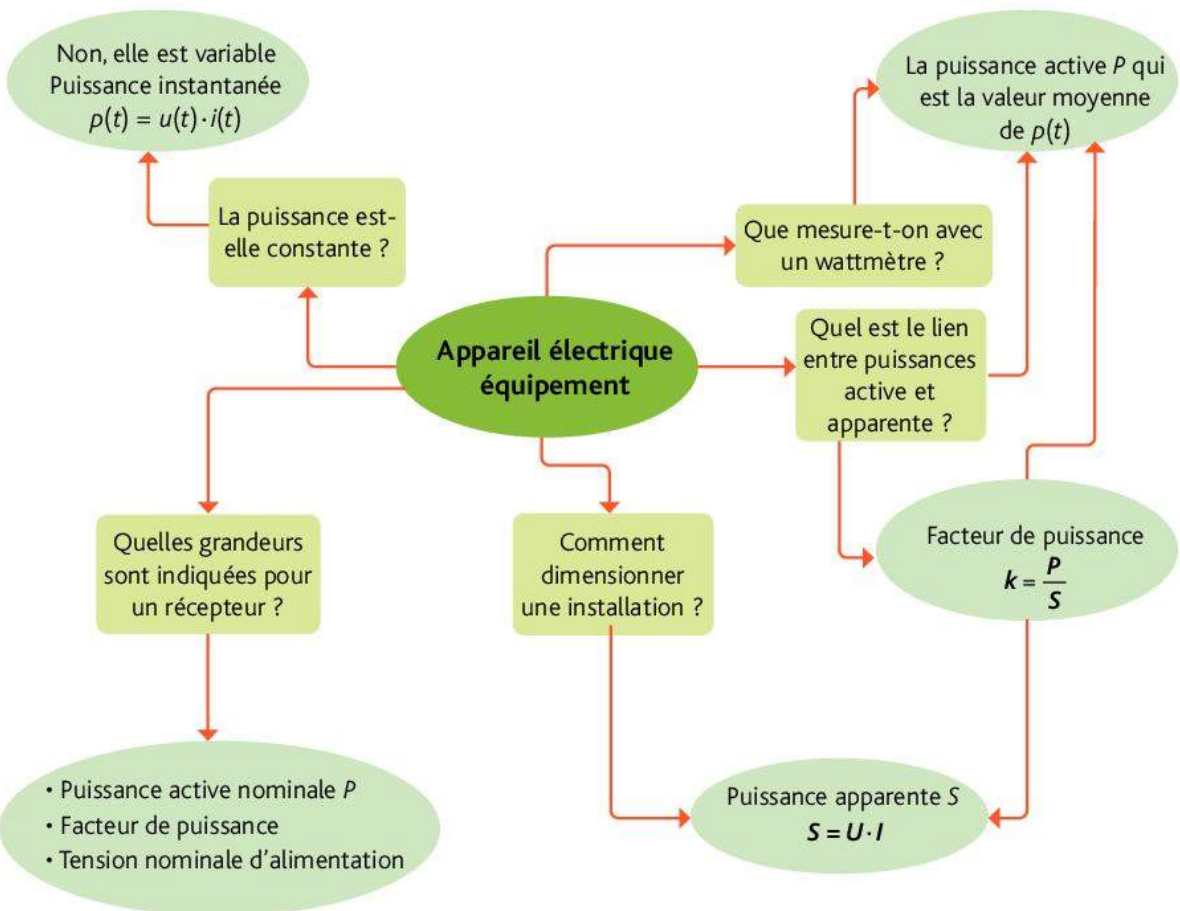
Auparavant, les lampes à incandescence avaient un facteur de puissance de 1. Maintenant, les lampes sont à LED ou fluocompactes, elles ont des facteurs de puissance inférieurs à 1 et donc elles modifient le facteur de puissance globale de l'installation et donc les pertes en ligne.



A. Grandeur sinusoïdale



B. Puissances



Questions flash  Pour chaque question, trouver la ou les bonne(s) réponse(s).



CORRIGÉS p. 300-304

1 Une grandeur sinusoïdale alternative peut être décrite par la fonction mathématique...

- a. $u(t) = e^{(2\pi \cdot f \cdot t)}$.
- b. $u(t) = \hat{U} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$.
- c. $u(t) = (2\pi \cdot f \cdot t)$.

2 La valeur efficace U d'une grandeur sinusoïdale alternative est calculée par la relation...

- a. $U = \sqrt{2} \cdot \hat{U}$.
- b. $U = \frac{\hat{U}}{2}$.
- c. $U = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$.

3 La puissance apparente...

- a. est la puissance consommée par l'appareil électrique.
- b. permet de dimensionner une installation électrique.
- c. permet de déterminer le facteur de puissance d'une installation.

4 La puissance active d'un récepteur...

- a. est la puissance moyenne consommée par le récepteur.
- b. a pour expression $U \cdot I \cdot k$.
- c. s'exprime en VA.

5 La puissance apparente du groupe électrogène ci-dessous vaut...



- a. 32 kVA.
- b. 40 kVA.
- c. 50 kVA.

6 Le facteur de puissance d'un radiateur électrique vaut...

- a. 1.
- b. 0,8.
- c. 0,93.

Vrai ou Faux ? Pour chaque proposition, déterminer si elle est vraie ou fausse.

- 1** Un courant sinusoïdal de fréquence 2,0 kHz a une période de 0,50 ms.
- 2** Un courant sinusoïdal alternatif de valeur efficace 4,0 A a une amplitude de 11 A.
- 3** La phase à l'origine des temps s'exprime en secondes.
- 4** Un moteur électrique de facteur de puissance 0,75 consommant une puissance

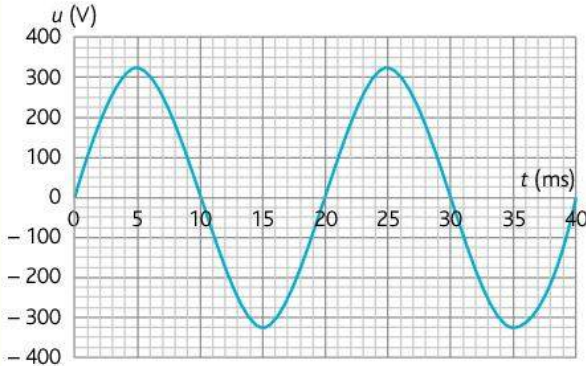
active de 90 W, alimenté par une tension sinusoïdale de valeur efficace 230 V est traversé par un courant de valeur efficace 3,5 A.

- 5** Un transformateur de puissance apparente 60 VA peut alimenter 10 lampes consommant chacune 5 W et un moteur électrique de puissance 25 W.
- 6** Le facteur de puissance minimal d'une installation vaut 0,90.

A Grandeur sinusoïdale

1 Valeur efficace du réseau électrique domestique

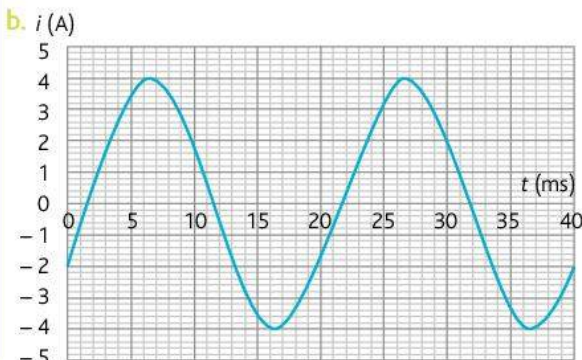
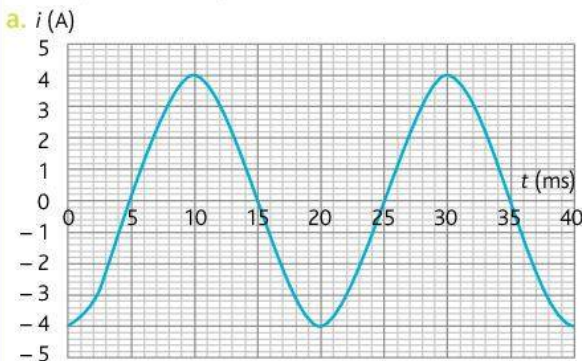
L'énergie électrique est acheminée en France des centres de production vers les consommateurs via son réseau électrique. La tension délivrée aux particuliers est relevée ci-dessous.



- À partir de l'oscillogramme de la tension $u(t)$ du secteur, déterminer sa tension maximale \hat{U} .
- En déduire la tension efficace U du secteur.
- À partir de l'oscillogramme, déterminer la période T de la tension du réseau domestique.
- En déduire la fréquence f de la tension délivrée.

2 Phase à l'origine

Pour chaque oscillogramme ci-dessous, déterminer la phase à l'origine.



3 Modélisation par une fonction sinusoïdale

1. À partir des valeurs instantanées, déterminer dans chaque cas, la valeur efficace, la fréquence et la phase à l'origine :

a. $u(t) = 17 \cdot \sin(62,8 \cdot t - 0,785)$ avec $u(t)$ en volts.

b. $i(t) = 30 \times \sqrt{2} \cdot \sin(1\,571 \cdot t)$ avec $i(t)$ en milliampères.

2. Donner l'expression des valeurs instantanées à partir des caractéristiques suivantes :

a. $U = 25$ mV, $f = 50$ Hz et $\varphi = 0,0^\circ$.

b. $\hat{I} = 2,0$ A, $f = 5,0$ kHz et $\varphi = +45,0^\circ$.

Astuce

Exprimer un angle en radian : $\varphi(\text{rad}) = \frac{\varphi(^{\circ}) \cdot \pi}{180}$.

B Puissances

4 Courant dans un moteur de compresseur

Un moteur électrique alternatif de compresseur a une puissance de 2 200 W et un facteur de puissance de 0,68. Il est alimenté par la tension du secteur 230 V, 50 Hz.

- Calculer la valeur efficace du courant dans le moteur du compresseur.
- Indiquer deux moyens pour diminuer l'intensité du courant tout en maintenant la puissance à 2 200 W.

5 Ampoule fluocompacte

1. D'après la plaque signalétique de l'ampoule fluocompacte ci-dessous, quelle est sa puissance active P ?



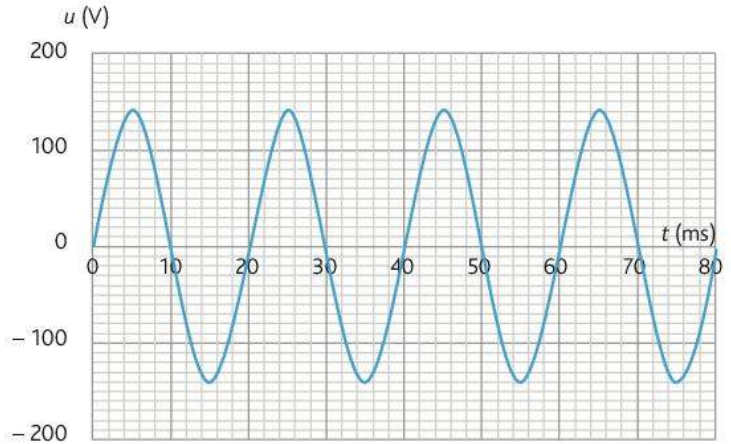
- Calculer sa puissance apparente S .
- En déduire le facteur de puissance de cette ampoule.



6 Voyage au Japon

En voyage à Tokyo, au Japon, Zoé se demande si le réseau électrique est le même qu'en France. Elle décide donc d'observer la tension délivrée et obtient l'oscillogramme ci-contre.

- Déterminer la tension efficace, la fréquence et la phase à l'origine du réseau japonais.
- Calculer sa pulsation.
- En déduire l'expression de la tension instantanée du réseau.
- Modéliser cette tension instantanée par un nombre complexe sous sa forme trigonométrique, puis sous sa forme algébrique.



RÉSOLUTION DÉTAILLÉE

1 À l'aide du graphique, on trouve une tension maximale $\hat{U} = 140 \text{ V}$, on en déduit la tension efficace $U = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}} = \frac{140}{\sqrt{2}} = 100 \text{ V}$.

→ On mesure le temps pour trois périodes : $3T = 60 \text{ ms}$, donc $T = \frac{60}{3} = 20 \text{ ms} = 20 \times 10^{-3} \text{ s}$.

→ On en déduit la fréquence $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \times 10^{-3}} = 50 \text{ Hz}$.

Enfin, la phase à l'origine de la tension représentée est $\varphi = 0^\circ$ car la courbe passe par 0 à l'instant initial.

2 La pulsation $\omega = 2\pi f = 2\pi \times 50 = 100\pi = 314 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$.

3 Tension instantanée $u(t) = \hat{U} \sin(\omega t + \varphi) = 140 \sin(314t)$.

4 Modélisation par un nombre complexe de la tension instantanée $u(t)$ avec une fréquence $f = 50 \text{ Hz}$:

→ Forme trigonométrique : $\underline{U} = [100 \text{ V} ; 0 \text{ rad}]$.

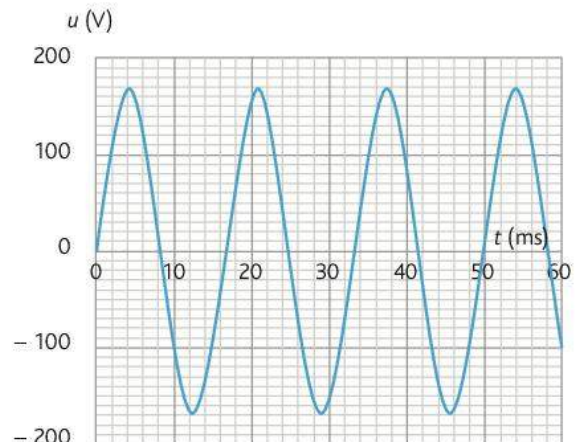
→ Forme algébrique : $\underline{U} = U \cdot \cos\varphi + jU \cdot \sin\varphi = 100 \cdot \cos(0) + j100 \cdot \sin(0) = 100$.

À vous de jouer

7 Voyage aux États-Unis

Lors d'un autre voyage, aux États-Unis, Zoé relève à nouveau un oscillogramme du réseau électrique local :

- Déterminer la tension efficace, la fréquence et la phase à l'origine du réseau américain.
- Calculer sa pulsation.
- En déduire l'expression de la tension instantanée du réseau.
- Modéliser cette tension instantanée par un nombre complexe sous sa forme trigonométrique, puis sous sa forme algébrique.

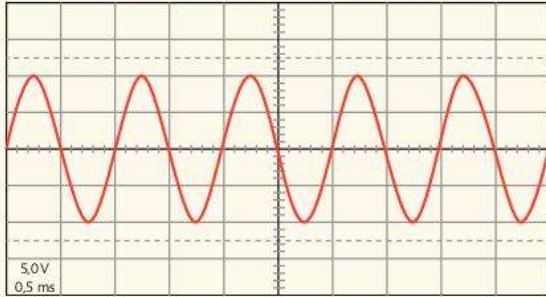


8 Décrypter un oscillogramme

» S'approprier • Mobiliser ses connaissances • Réaliser

On observe une tension instantanée $u(t)$ à l'oscilloscope.

DOC. 1 Oscillogramme de la tension.



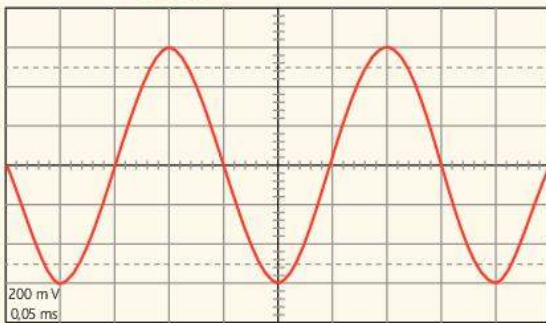
1. Que représentent les deux valeurs : 5,0 volts et 0,5 ms, en bas de l'écran ?
2. Quelle est la tension maximale \hat{U} de $u(t)$?
3. En déduire sa tension efficace U .
4. Déterminer la période de $u(t)$.
5. En déduire sa fréquence f .
6. Déterminer sa phase à l'origine.

9 Sonde de courant

» S'approprier • Mobiliser ses connaissances • Réaliser

On observe à l'oscilloscope, à l'aide d'une sonde de courant, l'image de l'intensité instantanée $i(t)$ dans un circuit :

DOC. 1 Oscillogramme de l'image du courant.



DOC. 2 Sonde de courant.



Sensibilité 100 mV/A

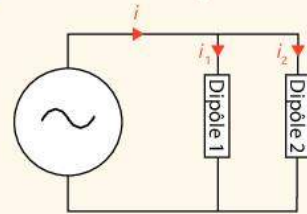
1. Que représentent les deux valeurs en bas de l'écran ?
2. Quelles sont la tension maximale et la tension efficace du signal observé ?
3. En déduire l'intensité maximale \hat{i} et l'intensité efficace I .
4. Déterminer la période de $i(t)$. En déduire sa fréquence f .
5. Déterminer sa phase à l'origine.

10 Loi des nœuds en régime sinusoïdal

» Analyser • Réaliser **Maths**

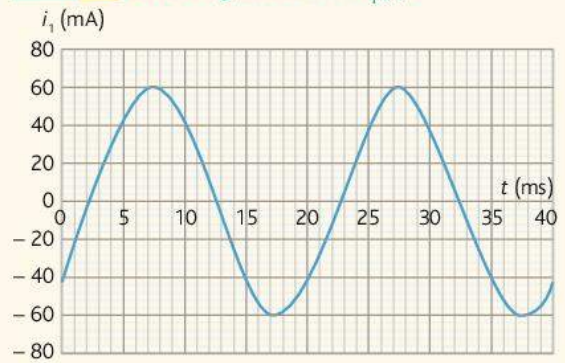
Soit le circuit suivant :

DOC. 1 Schéma électrique.

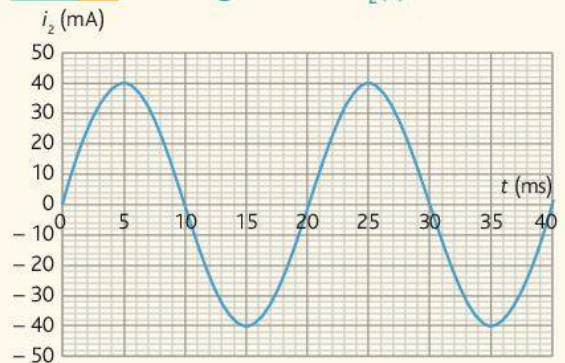


On observe les intensités instantanées $i_1(t)$ et $i_2(t)$:

DOC. 2 Oscillogramme de $i_1(t)$.



DOC. 3 Oscillogramme de $i_2(t)$.



1. À partir des oscillogrammes ci-dessus, calculer les intensités efficaces, les phases à l'origine et la fréquence des intensités instantanées $i_1(t)$ et $i_2(t)$.



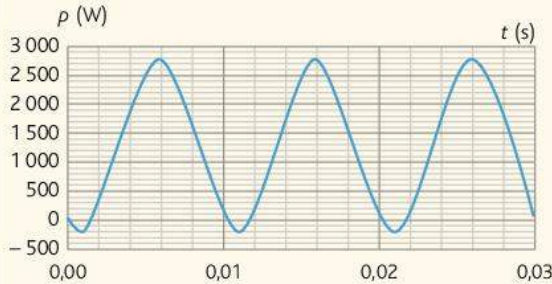
- En déduire les modélisations I_1 et I_2 de $i_1(t)$ et $i_2(t)$ par un nombre complexe sous sa forme algébrique.
- Quelle est la relation liant les nombres complexes I_1 , I_2 et I ?
- Calculer I .
- En déduire l'intensité efficace, la fréquence et la phase à l'origine de $i(t)$.

11 Puissance instantanée et puissance active d'un moteur alternatif

» Mobiliser ses connaissances • Analyser • Réaliser

On a relevé la puissance instantanée $p(t)$ reçue par un moteur électrique alimenté par la tension du secteur 230 V, 50Hz et appelant un courant sinusoïdal de valeur efficace 6,5 A.

DOC. 1 Oscillogramme de la puissance instantanée.



- Déterminer la fréquence de la puissance $p(t)$. Comparer cette fréquence à celle de la tension du secteur.
- Déterminer la valeur de la puissance instantanée aux instants $t = 0$, $t = 5$ ms et $t = 10$ ms.
- Déterminer graphiquement la puissance moyenne reçue par le moteur électrique.
- En déduire le facteur de puissance k du moteur électrique.

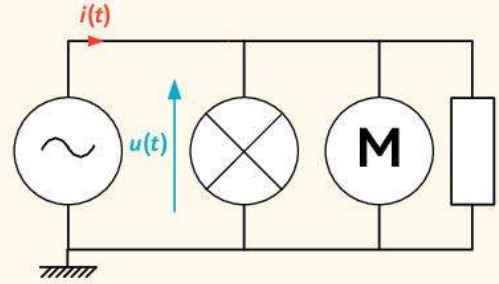
12 Puissance instantanée d'une installation électrique

Maths

» Mobiliser ses connaissances • Analyser • Réaliser

Un groupe électrogène de chantier alimente un éclairage, le moteur d'une pompe et un radiateur électrique.

DOC. 1 Schéma électrique de l'installation.



Les valeurs de la tension $u(t)$ et du courant $i(t)$ aux bornes de l'installation ont été relevées et rassemblées dans le tableau ci-dessous :

t (ms)	0	2	5	6	8	10
u (V)	0	75	127	121	75	0
i (A)	-9,90	2,08	17,1	19,4	18,1	9,90

t (ms)	12	15	16	18	20
u (V)	-75	-127	-121	-75	0
i (A)	-2,08	17,1	-19,4	-18,1	-9,90

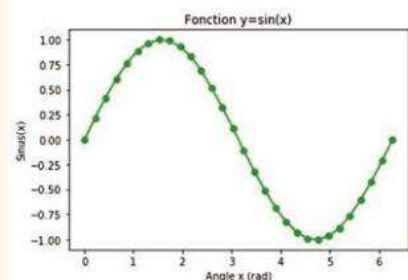
- Représenter sur le schéma électrique l'appareil permettant de visualiser la tension $u(t)$.
- À l'aide d'un tableur graphique, tracer la tension $u(t)$ et le courant $i(t)$.
- À l'aide du tableur, tracer la puissance instantanée $p(t)$.
- En déduire la puissance active consommée par l'installation.

13 Tracer une tension instantanée avec Python

» Réaliser Maths Python

DOC. 1 Code Python traçant la fonction $y = \sin(x)$.

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 # remplissage des tableaux
5 x = np.linspace(0, 2*np.pi, 30)
6 # Permet d'obtenir un tableau allant de 0 à 2π avec un 30 éléments
7 y = np.sin(x) # calcul des valeurs de sin(x)
8 # Affichage
9 plt.plot(x, y, "go-")
10 # y : green, o : forme des points, - : relié par une ligne continue
11 plt.xlabel("Angle x (rad)")
12 plt.ylabel("Sinus(x)")
13 plt.title("Fonction y=sin(x)")
14 plt.show()
15
16
```



DOC. 2 Instruction Python.

- Pour utiliser la bibliothèque lycée, vos programmes doivent commencer par cette ligne :

```
temp.py x sinus-python.py x sanstire0.py* x
```

```
1 from lycee import *
```

- Pour demander un nombre et stocker la réponse dans une variable :

```
temp.py x sinus-python.py x sanstire0.py* x
```

```
1 x = demande("Nombre ?")
```

- Dans ce cas, la question s'affiche et la réponse est attribuée à la variable numérique x.

1. En modifiant le code Python du doc.1, tracer la tension instantanée $u(t) = 325 \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot t)$ avec $u(t)$ en volts.

2. En utilisant l'instruction du doc. 2, modifier à nouveau le code pour demander en début de programme les valeurs de la fréquence et de la tension maximale.

14 Ordres de grandeur de puissance active

» S'approprier • Analyser

Attribuer à chaque appareil sa puissance active.

1. Perceuse



a. 40 W

2. Lampe



b. 135 W

3. Plaque de cuisson



c. 2 000 W

4. Réfrigérateur



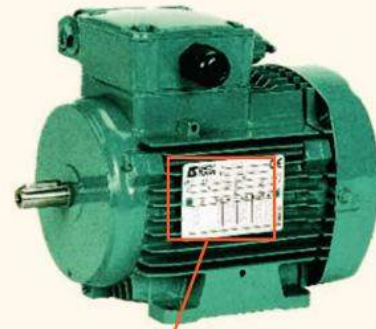
d. 5 000 W

15 Plaque signalétique Application technologique

» S'approprier • Analyser

Indiquer la signification des grandeurs repérées sur la plaque signalétique par un numéro.

DOC. Plaque signalétique d'un moteur asynchrone.



* LEROY SOMER		MOT. 1 ~ LS 80 L T				
IP 55		N° 734570 BJ 002 kg 9				
I cl.F		40°C S1				
V	Hz	min ⁻¹	kW	cos φ	A	
220	50	2780	0,75	0,95	4,85	
○ 1	○ 2	○ 3	○ 4	○ 5	○	

9910 0 MOTEURS LEROY-SOMER IEC 344-1(87)

16 Pompe de relevage Application technologique

» S'approprier • Raisonner

Après avoir acheté une pompe sur un site étranger, Nicolas cherche à savoir si le facteur de puissance est bien aux normes françaises. En effet, EDF impose une valeur minimum du facteur de puissance de 0,93 (si cette limite est franchie, en particulier pour les installations industrielles, l'entreprise facture des amendes relativement importantes).

DOC. Plaque signalétique de la pompe.



KSB SAS		F-59 320 Sequedin		S-1101	
Ama-Drainer N 301 SE					
230 V~	50 Hz	1,9 A	430 W		
Hmax = 6,7 m	Qmax = 10 m ³ /h		V		
Classe F	IP 68	150 °C	2 m		
CE		MADE IN FRANCE	2011	2000079	

Parcours A

Le facteur de puissance de la pompe respecte-t-il les normes EDF ?

Parcours B

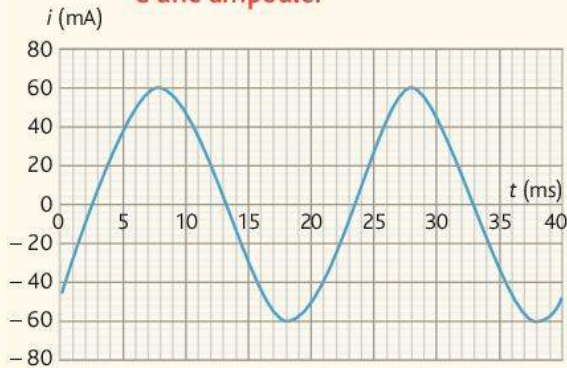
1. Calculer la puissance apparente de la pompe.
2. Donner la relation liant la puissance apparente, la puissance active et le facteur de puissance.
3. Calculer le facteur de puissance.
4. Conclure.

17 Anniversaire à la campagne

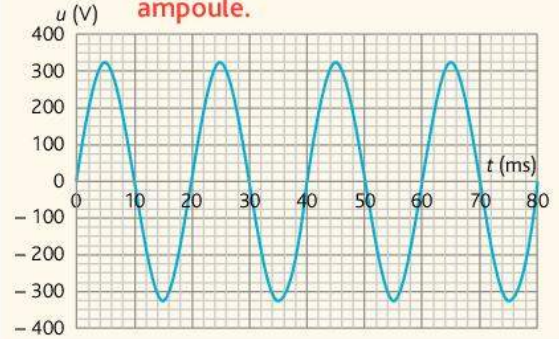


- Matthieu souhaite fêter son prochain anniversaire, le 29 juin, avec tous ses amis à la campagne. Pour cela, il prévoit d'utiliser 50 ampoules LED pour éclairer sa soirée en pleine campagne. L'énergie électrique sera fournie par un groupe électrogène. Un ami lui fournit les ampoules.
- Afin de choisir le bon groupe électrogène, il relève la tension $u(t)$ et l'intensité $i(t)$ d'une seule ampoule. Il mesure aussi la puissance active absorbée.

DOC. 1 Oscillogramme de l'intensité d'une ampoule.



DOC. 2 Oscillogramme de la tension d'une ampoule.



» Mobiliser ses connaissances • Reasonner • Réaliser • Valider

1. Avec quel appareil mesure-t-il la puissance absorbée ? Il relève $P_A = 6 \text{ W}$.
2. À partir des oscillogrammes ci-dessus, déterminer pour une ampoule :
 - la tension efficace U_A et la phase à l'origine de $u(t)$;
 - l'intensité efficace I_A et la phase à l'origine de $i(t)$;
 - la fréquence f_A .
3. Déterminer la puissance apparente S_A .
4. En déduire le facteur de puissance k_A .
5. Il décide d'ajouter à sa soirée une chaîne stéréo avec enceintes afin de mettre un peu de musique. La puissance active absorbée par la chaîne est $P_{\text{HiFi}} = 500 \text{ W}$.
Quelle est alors la puissance active totale absorbée par l'installation notée P_{Tot} ?
6. Il évalue le facteur de puissance de toute l'installation : $k_{\text{Tot}} = 0,91$. Quelle est alors la puissance réactive totale absorbée S_{Tot} ?
7. Parmi les groupes électrogènes donnés ci-dessous, lequel choisir ? Justifier votre réponse en donnant vos critères de choix.

Groupe électrogène	Essence de chantier DEFITEC Def 950	Essence inverter HYUNDAI	Essence inverter HONDA Eu10i
			
Prise(s)	1 prise 230 V	1 prise 230 V	1 prise 230 V
Puissance en utilisation continue (en VA)	810	1250	1125
Capacité du réservoir (en L)	4	4,2	2,1
Niveau de bruit (en dBA)	88	95	87
Carburant utilisé	Essence sans plomb	Essence et gaz sans plomb	Essence sans plomb
Autonomie (en h)	5,3	5	3,3
Type de moteur	DEFITEC 2 temps / 1,3 cv	HYUNDAI 4 temps	HONDA 4 temps OVH

Mini-projet d'application

Comment réaliser un adaptateur de batterie de téléphone alimenté par une dynamo de vélo ?



Cahier des charges à suivre

- ➔ Caractériser la tension et le courant délivrés par un chargeur de téléphone.
- ➔ Déterminer la puissance d'un adaptateur de téléphone.
- ➔ Caractériser expérimentalement la tension et le courant délivrés par une dynamo de vélo.
- ➔ Déterminer la puissance délivrée par la dynamo.
- ➔ Réaliser une alimentation continue de 5 V à partir de la dynamo de vélo pour remplacer un adaptateur de téléphone.

DOC. 1 Principe de fonctionnement d'un alternateur.

Constitution d'un alternateur

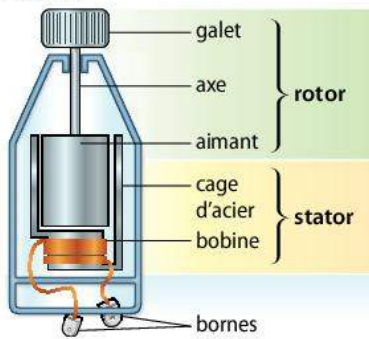
Un alternateur est constitué de deux éléments :

- Une bobine fixe.
- Une source de champ magnétique rotative (aimant ou électroaimant).

Fonctionnement

L'alternateur exploite un phénomène physique appelé induction selon lequel un aimant en mouvement fait naître une tension aux bornes d'une bobine située à proximité. Le signe de la tension produite dépend du pôle magnétique de l'aimant (nord ou sud) et du mouvement d'approche ou d'éloignement de l'aimant.

Lors de la rotation de l'aimant, on a successivement des mouvements d'approche puis d'éloignement du pôle sud magnétique puis du pôle nord. L'alternateur fournit donc une tension variable qui est alternativement positive puis négative.



DOC. 2 Plaque signalétique de l'adaptateur de tension d'un téléphone.



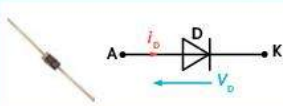
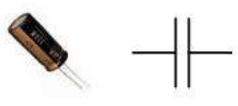

Aide

- Pour caractériser une tension, on détermine sa forme, sa fréquence, sa valeur efficace.
- La puissance en régime continu a pour expression $P = U \cdot I$.

Vers le grand oral

Dans le monde, près d'une personne sur 7 n'a pas accès à l'électricité. Comment l'énergie électrique est-elle produite selon les pays ? Renseignez-vous et expliquez les différences.

DOC. 3 Quelques composants électroniques.

Diode de redressement		La fonction d'une diode est de laisser passer le courant dans un sens et de le bloquer dans l'autre sens.
Condensateur		La fonction d'un condensateur est celle d'un réservoir d'énergie. Le condensateur a besoin d'un certain temps de charge et de décharge, il permet de filtrer une tension.
Régulateur intégré de tension		Un régulateur intégré de tension permet de délivrer une tension dont la valeur est la plus stable possible.

S'appropriier le projet avant de commencer

- 1 Rechercher des informations sur « redresser une tension alternative » et « filtrer une tension ».
- 2 Rechercher des informations sur les rôles d'une diode de redressement, d'un condensateur et d'un régulateur intégré de tension (RIT).

Se préparer et réviser les acquis de 1^{re}

Pour l'enseignant

↓ Diaporama des questions flash

Questions flash



CORRIGÉS p. 300-304

Pour chaque question, trouver la ou les bonnes réponses.

- 1** La relation liant l'intensité I du courant traversant une résistance, la tension U aux bornes d'une résistance et la valeur de la résistance R est ...
- $I = U \cdot R$.
 - $U = I \cdot R$.
 - $R = U \cdot I$.
- 2** L'unité de la puissance active est ...
- le joule.
 - le watt.
 - le watt heure.
- 3** La puissance produite par une centrale nucléaire est de l'ordre de ...
- 50 MW.
 - 900 MW.
 - 230 kW.
- 4** La puissance délivrée par un adaptateur de téléphone est de l'ordre de ...
- 5,0 W.
 - 100 W.
 - 0,20 W.
- 5** Sachant que P_a est la puissance reçue et P_u la puissance fournie par un système, l'expression du rendement d'un système est :
- $\eta = \frac{P_a}{P_u}$.
 - $\eta = \frac{P_u}{P_a}$.
 - $\eta = P_a \cdot P_u$.

Capacités exigibles

- Relier le facteur de puissance d'un équipement aux pertes dans les lignes d'alimentation. **Activités 1**
- Mettre en évidence les seuils de dangerosité du courant électrique. Citer des dispositifs de protection. **Activité 2**
- Relier l'augmentation de la tension de distribution à la diminution des pertes dans les lignes d'alimentation. **Activité 3**
- Mesurer le rendement et le rapport de transformation d'un transformateur monophasé. **Activité 4**

Transport et distribution de l'énergie électrique



Les chemins de l'électricité (4 min 14)



L'électricité produite en périphérie des agglomérations doit parcourir un long chemin avant d'arriver aux bornes des prises électriques de nos maisons. Quelles sont les précautions nécessaires pour limiter les pertes d'énergies lors de son grand voyage ?

L'électricité est responsable de 30 % des incendies domestiques, comment peut-on les éviter ?

Liens avec les maths

- Exploitation de courbes.
- Fonctions affines.

Exercices **8** **11** **13**

Exercice **17**

Activités



- 1 Pertes en ligne !
- 2 Attention danger, courant électrique !
- 3 Pourquoi l'énergie électrique est-elle transportée sous haute tension ?
- 4 Quel est le rôle d'un transformateur ? Quel est son rendement ?

documentaire

documentaire

expérimentale

expérimentale

Pertes en ligne !

Capacité

Relier qualitativement le facteur de puissance d'un équipement de puissance donnée aux pertes dans les lignes d'alimentation.

Objectif

Savoir pourquoi les équipements électriques doivent respecter un facteur de puissance minimal.

Pour livrer 100 MW à Adam, le réseau de transport de l'électricité en achemine 103 MW. En effet, 3 MW sont perdus lors du transport, Adam se demande d'où proviennent ces pertes et si les appareils qu'ils branchent sur le réseau peuvent augmenter ou diminuer les pertes dans les lignes électriques.

DOC. 1 Pertes par effet joules dans les lignes.

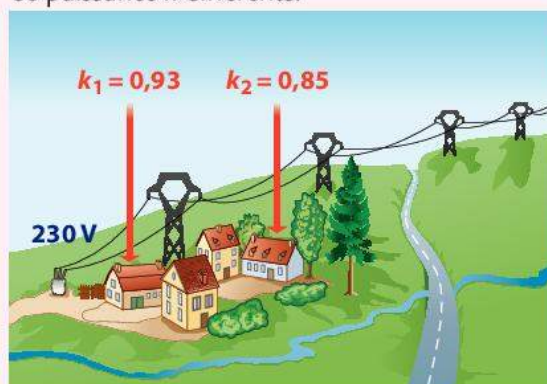
Lors de son transport entre le point de production et le point de livraison, l'électricité connaît des pertes. Elles proviennent de la déperdition d'énergie qui s'opère dès qu'un courant circule dans le matériau conducteur des liaisons. Le transport de l'électricité fait chauffer le câble et génère des pertes d'énergie. On appelle cette dissipation de chaleur l'effet joule.


Données

- Pertes joules dans un câble : $P_j = R \cdot I^2$.
- Câble aluminium $R = 48 \text{ m}\Omega$ pour 300 m de long.

DOC. 2 Transport de l'énergie électrique.

Deux maisons d'un même village consomment la même puissance électrique 9,0 kW, mais leurs installations électriques présentent des facteurs de puissance k différents.



DOC. 3 Facteur de puissance de quelques appareils électriques.

Appareil	Ampoule LED	Fer à repasser	Four électrique	Moteur asynchrone d'une scie à bois	Pompe à chaleur	Réfrigérateur
Facteur de puissance	0,7 à 0,9	1	1	0,85	0,60	0,60

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **S'approprier** Quelle grandeur électrique engendre des pertes joules dans les lignes électriques ?

2 » **Réaliser** À partir du doc. 2, calculer la valeur efficace du courant appelé par chaque maison.

3 » **Réaliser** En déduire, pour chaque maison, les pertes joules dans le câble électrique d'une longueur de 300 m, pour une tension de valeur efficace 230 V.

4 » **Analyser** Comment évoluent l'intensité du courant appelé et donc les pertes joules dans les lignes lorsque le facteur de puissance d'une installation diminue ?

5 » **S'approprier** • **Analyser** Quels types d'appareils ont des facteurs de puissance de 1 ?

Aide

Puissance active : $P = U \cdot I \cdot k$.

Conclusion

Pourquoi EDF impose un facteur de puissance minimal de 0,93 pour une installation électrique ?

Attention danger courant électrique !

Pour l'enseignant
Grille d'auto-évaluation

Capacités

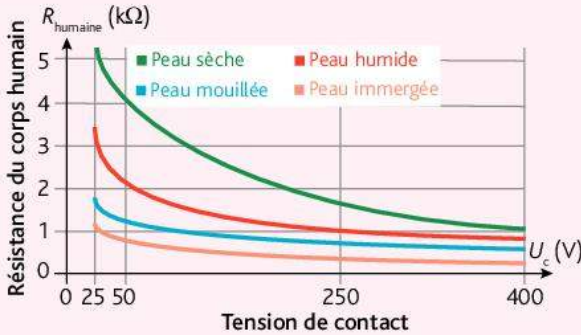
- Exploiter des documents mettant en évidence les seuils de dangerosité du courant électrique.
- Citer des dispositifs de protection des individus et des matériels contre les risques du courant électrique.

Objectif

Déterminer les paramètres qui rendent le courant électrique dangereux.

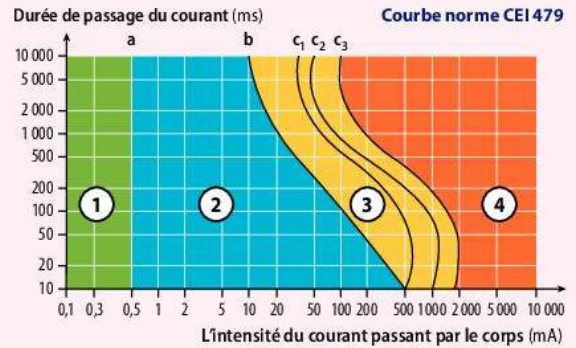
Maëlis touche malencontreusement un fil électrique dénudé et ressent une sensation désagréable de brûlure. Cet incident aurait-il pu avoir des conséquences plus graves ?

DOC. 1 Résistance du corps humain et intensité du courant.



Intensité du courant qui traverse le corps : $I = \frac{U_c}{R}$

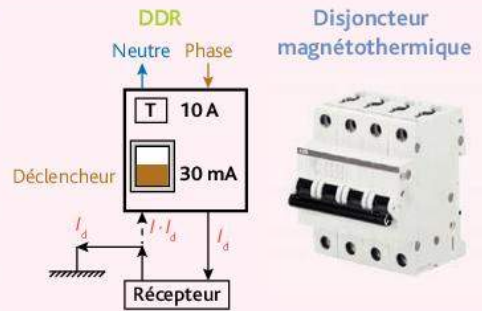
DOC. 2 Dangerosité du courant électrique.



- Zone 1 Aucune réaction
- Zone 2 Aucun effet physiologique dangereux
- Zone 3 Contraction musculaire, difficultés respiratoires
- Zone 4 Arrêt du cœur et de la respiration, brûlures graves

DOC. 3 Système de protection des personnes et des matériels.

- Le **DDR (dispositif différentiel à courant résiduel)** intervient dans la protection des personnes. Lorsqu'il existe un courant de fuite I_d , le circuit électrique est interrompu. Cette protection ne fonctionne que si les appareils sont reliés à la prise de terre.
- Le **disjoncteur magnétothermique** protège les installations contre les surintensités.
- **Action thermique** : le courant du circuit traverse un bilame qui se déforme sous l'action de la chaleur, le bilame ouvre le circuit.
- **Action magnétique** : lorsque le courant dans le circuit devient trop important, le bobinage produit un champ magnétique qui ouvre le circuit électrique.



DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **S'approprier** De quels paramètres dépend la dangerosité de l'électrisation (doc. 2) ?

2 » **Analyser** À partir de quelle intensité du courant les effets du courant sur le corps peuvent-ils être dangereux (doc. 2) ?

Conclusion

Quels paramètres rendent le courant électrique dangereux ?

3 » **Réaliser** Déterminer la résistance du corps humain lorsque la tension de contact vaut 50 V dans le cas d'une peau sèche. En déduire l'intensité du courant traversant le corps. La personne est-elle en danger si l'électrisation dure 1 seconde ?

4 » **S'approprier** Citer un dispositif permettant de protéger les personnes, puis un dispositif permettant de protéger les équipements.

3 ACTIVITÉ Pourquoi l'énergie électrique est-elle transportée sous haute tension ? 1 h 30

Capacités

- Relier qualitativement l'augmentation, pour une charge donnée, de la tension de distribution à la diminution des pertes dans les lignes d'alimentation.
- Représenter le schéma simplifié de l'organisation du transport et de la distribution de l'énergie électrique pour une ligne monophasée.

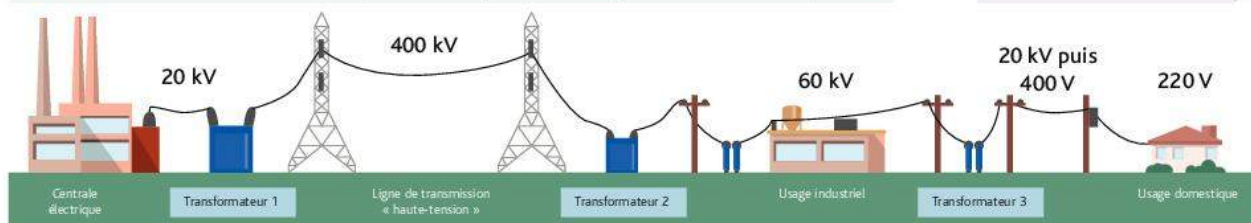
Objectif du TP

Étudier l'intérêt de transporter l'énergie électrique sous haute tension.

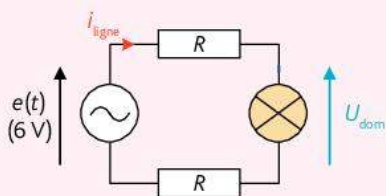
Le transport de l'électricité peut être modélisé par les deux schémas électriques de l'installation ci-dessous (doc. 1 et doc. 2) : les résistances R modélisent les résistances des lignes électriques, le générateur $e(t)$ modélise la centrale électrique et l'ampoule les appareils domestiques.

MATÉRIEL

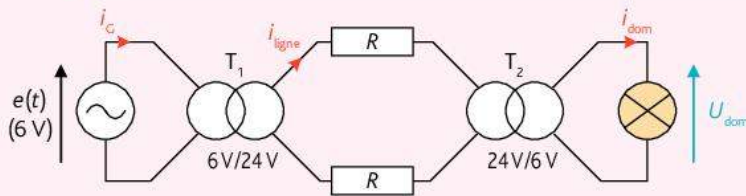
- Deux transformateurs moulés 24 V/6 V.
- Une alimentation sinusoïdale 6 V, 0,5 A.
- Deux résistances 22 Ω , 0,25 W.
- Trois multimètres.
- Une ampoule 6 V, 300 mA.



DOC. 1 Schéma de l'installation sans transformateur.




DOC. 2 Schéma de l'installation avec transformateur.



ÉTAPE 1 Protocole

1. Dans chaque cas (avec ou sans transformateur), proposer un schéma électrique permettant de mesurer la valeur efficace du courant i_{ligne} , i_{dom} et la valeur efficace U_{dom} aux bornes de l'ampoule.

 Appeler l'enseignant pour vérifier.

ÉTAPE 2 Mesures et analyse

2. Réaliser les deux montages et prendre les mesures.
3. Dans quel cas l'ampoule éclaire-t-elle le plus ? Dans quel cas reçoit-elle le plus de puissance électrique ?
4. Mesurer, dans chaque cas, la valeur efficace du courant I_{ligne} et de la tension U_{dom} .
5. En déduire les pertes joules dans les lignes pour les deux circuits. Conclure.

Aide

La puissance P dissipée par effet joule dans une résistance a pour expression : $P = R \cdot I^2$ avec I l'intensité efficace.

Conclusion du TP

Pourquoi transporter l'énergie électrique sous des tensions de 225 kV ou 400 kV, alors que la tension efficace délivrée aux utilisateurs est seulement de 230 V ?

Quel est le rôle d'un transformateur ? Quel est son rendement ?



2 h

Capacité

Mesurer le rapport de transformation et le rendement d'un transformateur monophasé.

Objectif du TP

Étudier les caractéristiques des transformateurs élévateurs ou abaisseurs de tension.

Pour transporter l'électricité, on utilise des transformateurs qui élèvent la tension 20 kV / 400 kV ou bien qui l'abaissent 225 kV / 90 kV.



DOC. 1 Le transformateur démontable.

Le transformateur démontable est constitué de deux bobines.

- La bobine primaire, constituée de $N_1 = 440$ spires, est alimentée par la tension du secteur de valeur efficace $U_1 = 230$ V.
 - La bobine secondaire est le siège d'une tension induite de valeur efficace U_2 . Son nombre de spires N_2 est modifiable.
- Le rapport de transformation d'un transformateur, noté « m », a pour expression $m = \frac{U_{2V}}{U_1}$.

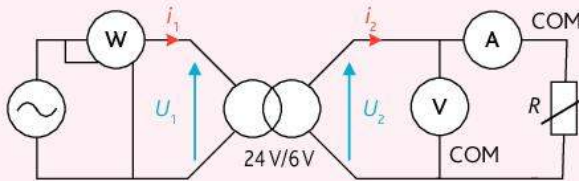


Produit conçu et fabriqué par la société Langlois sarl.

MATÉRIEL

- Un transformateur démontable.
- Un transformateur moulé 24 V/6 V.
- Une alimentation sinusoïdale 24 V, 3 A ou 5 A.
- Un wattmètre numérique monophasé.
- Un rhéostat de 33 Ω , 2,2 A.
- Deux multimètres.

DOC. 2 Schéma de l'installation, mesure du rendement.



Régler le rhéostat afin que la valeur efficace du courant i_2 au secondaire du transformateur soit égale à 2 A.

ÉTAPE 1 Quel est le rôle d'un transformateur ?

1. Proposer un protocole pour mesurer la valeur efficace U_{2V} de la tension à vide au secondaire du transformateur démontable. 📞 Appeler l'enseignant pour vérifier.
2. Mesurer U_{2V} lorsque le nombre de spires de la bobine au secondaire vaut 18, puis lorsque N_2 vaut 36 spires.
3. Calculer dans chaque cas le rapport de transformation m et le rapport $\frac{N_2}{N_1}$.
4. Quelle relation existe-t-il entre le rapport de transformation m et le rapport $\frac{N_2}{N_1}$?

ÉTAPE 2 Quel est le rendement d'un transformateur monophasé ?

5. En vous aidant du montage proposé sur le doc. 2, proposer un protocole permettant de mesurer le rendement du transformateur. 📞 Appeler l'enseignant pour vérifier.
6. En déduire le rendement du transformateur.

Conclusion du TP

Quel est le rôle d'un transformateur ? Quel paramètre permet de modifier la valeur efficace de la tension au secondaire ? Quel est l'ordre de grandeur du rendement d'un transformateur ?

A Les risques électriques et les dispositifs de protection

COURS

1 L'électrisation

- Le corps humain est conducteur et peut s'**électriser**.
- Lorsque cette électrisation entraîne la mort, il y a **électrocution**.

INFOS FLASH

Il y a de plus en plus d'électrocutions par des téléphones portables en charge tombés dans le bain.

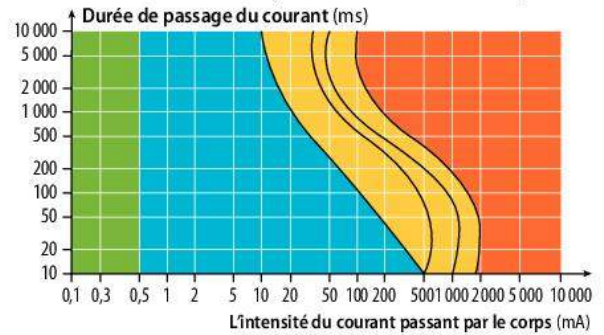
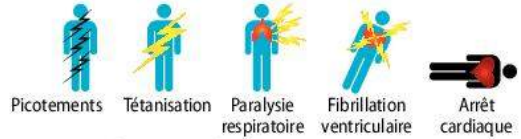


- La **gravité du choc électrique** dépend de :
 - l'intensité I du courant de choc circulant dans le corps ;
 - la durée Δt de son passage.

Exemple : Si $I = 30 \text{ mA}$ et $\Delta t = 500 \text{ ms}$, le risque est une paralysie respiratoire.

INFOS FLASH

200 décès par an par électrocution !
4 000 électrisations graves par an entraînant handicaps et séquelles graves.



2 L'incendie

- Des **surintensités** peuvent provoquer l'échauffement des conducteurs et engendrer un incendie.

INFOS FLASH

50 000 incendies domestiques par an, 30 % sont d'origine électrique.

Exemple :



3 Dispositifs de protection des individus

- Alimentation des appareils en **très basse tension** grâce à des transformateurs.

Exemple : Dans un local humide (salle de bain, piscine), les lampes proches des zones d'eau doivent être alimentées avec des tensions inférieures à 12 V.

- L'**interrupteur différentiel** mesure en permanence l'intensité de courant qui passe dans un fil à l'aller et dans l'autre fil au retour. Il ouvre le circuit s'il constate une différence. Il détecte ainsi les courants de fuite.

Exemple :
L'interrupteur différentiel 30 mA ouvre le circuit .



- La **prise de terre** est un fil qui permet de conduire le courant de fuite directement vers la terre, sa résistance doit être inférieure à 100Ω .

4 Dispositifs de protection des matériels

- Les **fusibles** sont constitués de conducteurs qui fondent lorsque l'intensité du courant est trop grande. Ils ouvrent ainsi le circuit électrique.

- Le **disjoncteur magnétothermique** permet de détecter les surintensités et les courts-circuits.

B Le transformateur monophasé

Lien vidéo  Comment une centrale éolienne transforme la force du vent en électricité (2 min 21) 

1 Rôle du transformateur

- Le **transformateur** transforme un système de tension et courant alternatifs, en un autre système de tension et courant alternatifs de valeurs généralement différentes, à la même fréquence, dans le but de transmettre de la puissance électrique.
- Le transformateur est **élévateur de tension** lorsque la tension au secondaire (en sortie) est plus élevée que la tension primaire (en entrée).

Exemple : La valeur efficace de la tension à la sortie des centrales électriques est élevée de 20 kV à 400 kV par un transformateur.

- Le transformateur est **abaisseur de tension** lorsque la valeur efficace de la tension au secondaire (en sortie) est moins élevée que la valeur efficace de la tension primaire (en entrée).

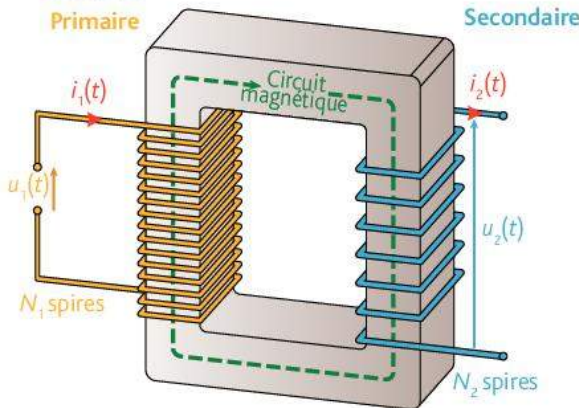
Exemple : Transformateur utilisé dans les adaptateurs d'ordinateur portable : 230 V / 24 V.



2 Caractéristiques du transformateur parfait

- Le transformateur est constitué de deux enroulements électriquement indépendants qui enlacent un circuit magnétique commun.

Exemple :



- Le **rapport de transformation**, noté m , est le rapport entre la valeur efficace U_1 de la tension primaire $u_1(t)$ et la valeur efficace U_2 de la tension secondaire $u_2(t)$:

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_2}{I_1}$$

- N_1 et N_2 , nombre de spires des bobines au primaire et au secondaire.

Exemple : $m = \frac{24}{230} \approx 0,10$.

Remarque

Si le transformateur n'est pas considéré comme parfait : $m = \frac{U_{2v}}{U_1}$, U_{2v} étant la valeur efficace de la tension au secondaire du transformateur lorsque celui fonctionne à vide.

C Le transport et la distribution de l'énergie électrique

1 Le réseau de transport et de distribution de l'énergie électrique

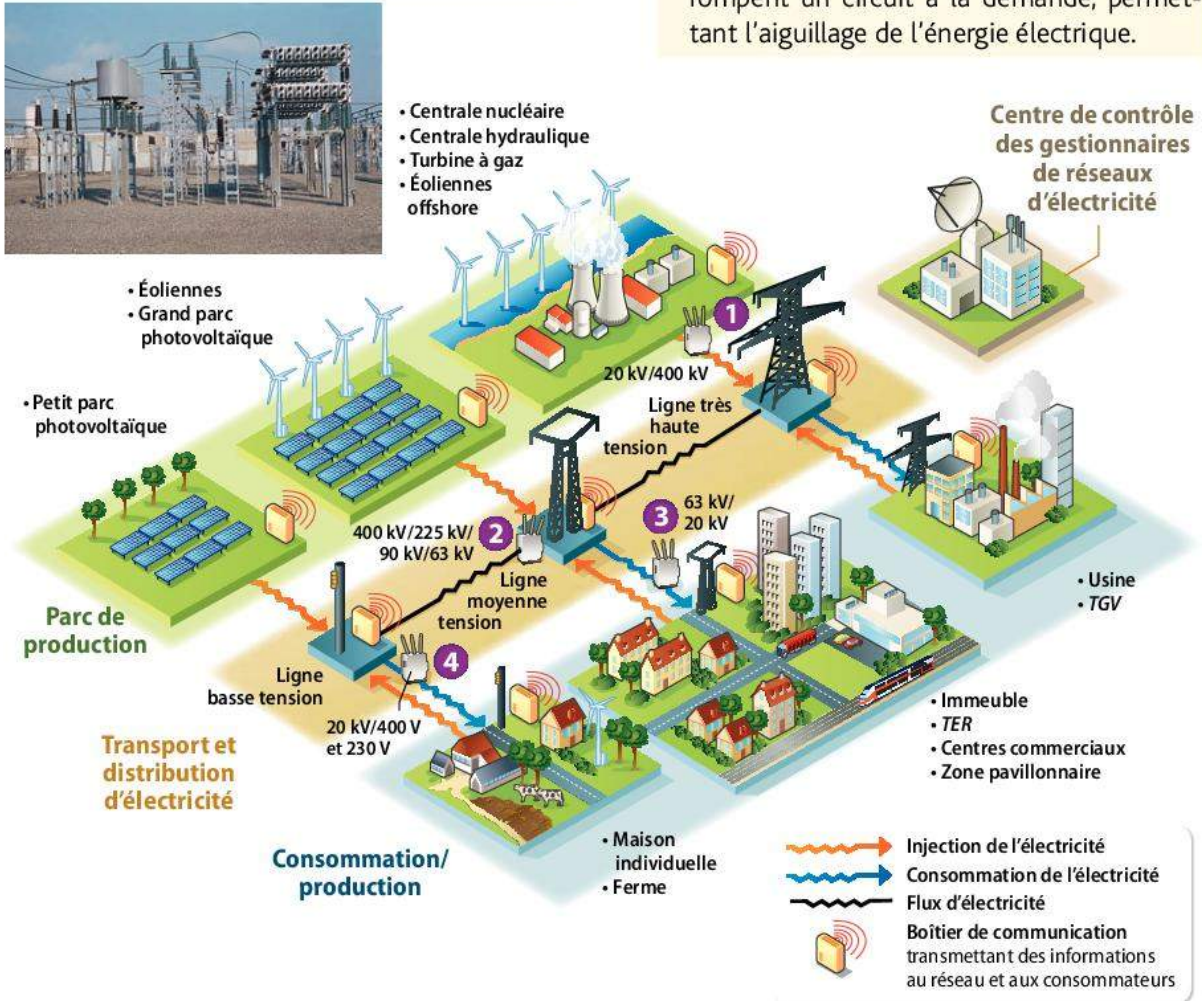
- Le **réseau public de transport** de l'énergie électrique achemine des quantités importantes d'énergie électrique sur de grandes distances, entre les régions et vers les pays voisins.

- Pour **minimiser les pertes** lors du transport, la tension en sortie des centrales électriques est élevée à 400 kV, 225 kV (ligne très haute tension) ①, puis abaissée à 90 kV, 63 kV (ligne haute tension) au niveau local par des postes de transformations ②.



- Les **réseaux publics de distribution** de l'énergie électrique acheminent l'énergie électrique sur de plus courtes distances, pour une alimentation locale. Ces réseaux sont constitués d'ouvrages de moyenne tension **3** (entre 1 kV et 50 kV), et d'ouvrages de basse tension **4** (inférieure à 1 kV).

- Les postes de transformation sont composés de 3 types d'appareils :
 - des **transformateurs** qui abaissent la tension ;
 - des **disjoncteurs**, capables d'interrompre automatiquement en cas de nécessité ;
 - des **sectionneurs**, qui établissent ou interrompent un circuit à la demande, permettant l'aiguillage de l'énergie électrique.



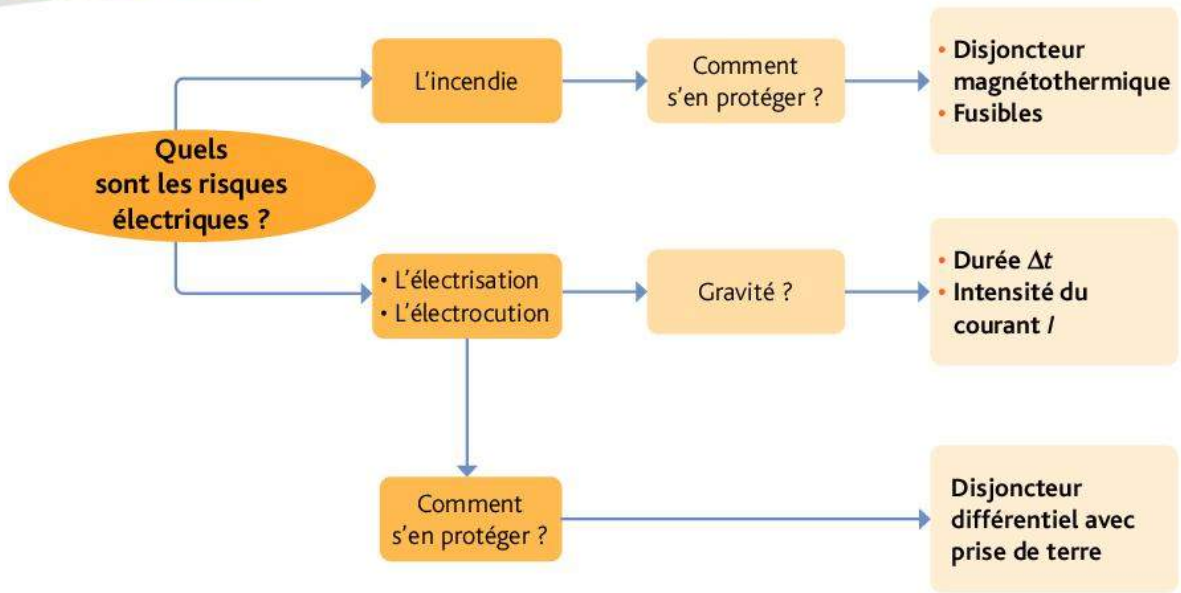
2 Comment limiter les pertes dans les lignes lors du transport de l'énergie électrique ?

- Les conducteurs qui transportent l'énergie électrique présentent une résistance qui est responsable de **pertes par effet joule**.
- L'expression liant la valeur efficace du **courant** I et la **puissance active** P est $I = \frac{P}{U \cdot k}$.

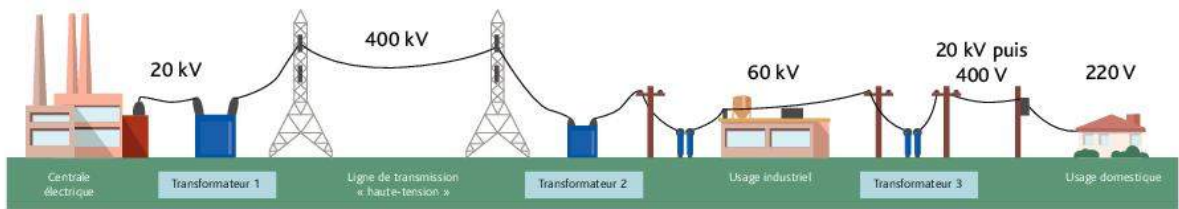
- Pour **diminuer les pertes par effet joule** dans les lignes il faut donc augmenter la valeur efficace U de la tension sur les lignes ou le facteur de puissance k , pour une puissance distribuée P donnée.



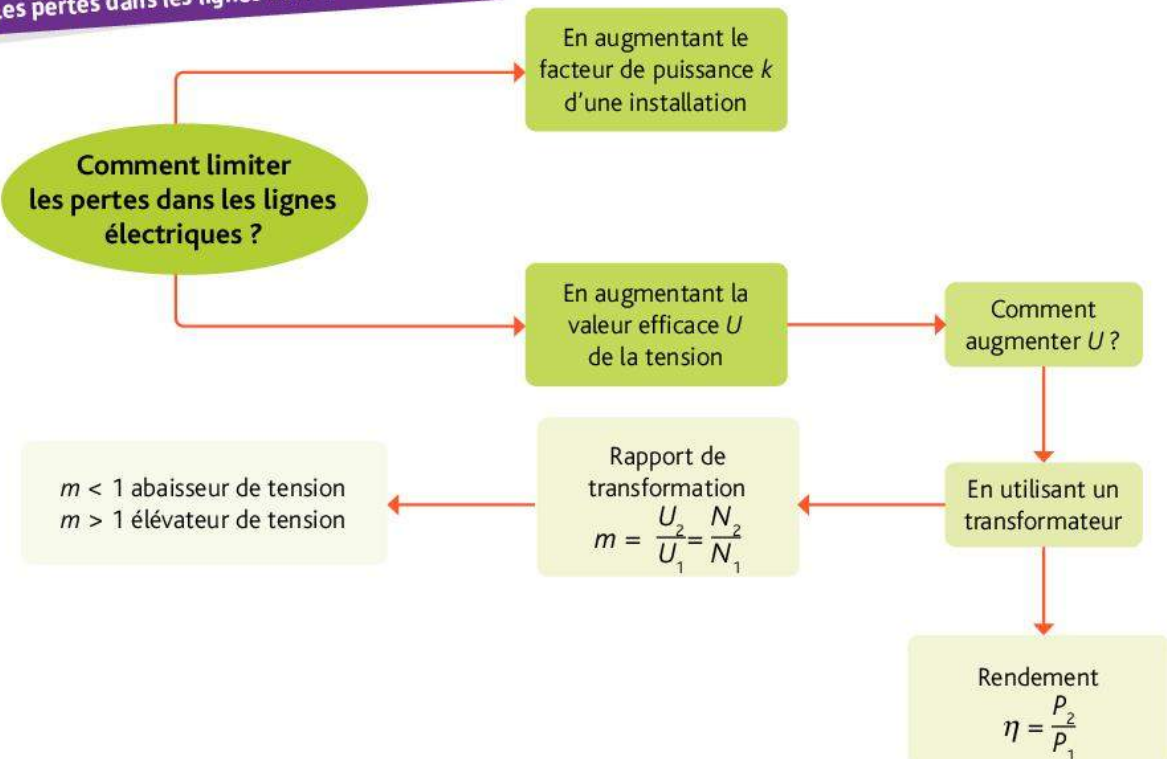
A. Les risques électriques et les dispositifs de protection



B. Le transport de l'énergie électrique



C. Les pertes dans les lignes et le transformateur



Questions flash  Pour chaque question, trouver la ou les bonne(s) réponse(s).



CORRIGÉS p. 300-304

- 1** La gravité du choc électrique dépend ...
- de la durée.
 - de l'intensité du courant.
 - de la section du fil.

- 2** Pour protéger les personnes d'un choc électrique, on utilise ...
- des fusibles.
 - un disjoncteur magnétothermique.
 - un disjoncteur différentiel associé à une prise de terre.

- 3** Le réseau très haute tension transporte l'énergie électrique sous une tension de ...
- 20 kV.
 - 400 kV.
 - 225 kV.

- 4** On transporte l'énergie électrique sous très haute tension ...
- pour diminuer les pertes dans les lignes électriques.
 - car l'électricité est produite sous très haute tension.
 - pour diminuer la résistance des câbles électriques.

- 5** Le rapport de transformation d'un transformateur parfait a pour expression ...
- $m = \frac{U_1}{U_2}$.
 - $m = U_1 \cdot U_2$.
 - $m = \frac{U_2}{U_1}$.

- 6** Un transformateur de rapport de transformation 0,10 est composé de 440 spires au primaire, le secondaire est constitué de ...
- 44 spires.
 - 4 400 spires.
 - 440 spires.

Vrai ou Faux ? Pour chaque proposition, déterminer si elle est vraie ou fausse.

- Le disjoncteur différentiel mesure en permanence l'intensité de courant qui passe dans un fil à l'aller et dans l'autre fil au retour.
- La valeur efficace de la tension à la sortie d'une centrale électrique vaut 63 kV.
- Les tensions efficaces du primaire et du secondaire du transformateur peuvent être égales.
- Un transformateur est abaisseur de tension si m est inférieur à 1.
- Il n'y a pas de pertes dans un transformateur.
- Si on diminue le facteur de puissance d'une installation électrique, les pertes sur les lignes diminuent.

A Les risques électriques et les dispositifs de protection

1 Dangers du courant électrique

Milo est en contact direct avec la phase de la tension du secteur de 230 V pendant 0,5 s. La résistance de son corps vaut 4,0 k Ω .



- Calculer l'intensité du courant traversant le corps de Milo.
- Déterminer les effets de ce courant en vous aidant du diagramme page 86.

2 Protection des personnes et des équipements

Fusible ● ●

Prise avec terre ● ●

Disjoncteur magnétothermique ● ●

Disjoncteur différentiel ● ●



- Attribuer à chaque image son nom.
- Lesquels assurent la protection des personnes ? Lesquels assurent la protection des équipements ?

B Le transformateur monophasé

3 Plaque signalétique d'un transformateur

Transfo. 1	Mono de séparation TN0630S00	
f :	50/60 Hz	Ta : 35°C CL H IP00 CLIN° 185
PRIMAIRE :	440 V 2	12/2019
SECONDAIRE :	230 V 3	
PUISSANCE :	630 VA 4	
: 2,3 A NORME EN61558-2-4		

Indiquer la signification des valeurs numérotées sur la plaque signalétique du transformateur.

4 Abaisser une tension alternative

La tension d'alimentation d'une batterie de téléphone portable est de 3 V continue.

Un adaptateur permet d'abaisser la valeur efficace de la tension du secteur valant 230 V et de la rendre continue.

- Nommer le dispositif de l'adaptateur permettant d'abaisser la tension.
- Calculer le rapport de transformation de ce dispositif si on le suppose parfait.

C Le transport et la distribution de l'énergie électrique

5 Transport de l'énergie électrique

Indiquer les intervalles de tensions correspondant à la :

- très haute et haute tension (THT) ;
- moyenne tension (MT) ;
- basse tension (BT).

6 Pertes dans les lignes électriques

Une ligne électrique de longueur 20 km et de résistance électrique linéique de 0,160 $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ est parcourue par un courant de valeur efficace 40 A.

- Calculer les pertes dans la ligne électrique.
- Sous quelle forme se dissipent ces pertes ? Donner le nom de ces pertes.

7 Rendement d'un transformateur

Un transformateur réel 5 kV/400 V alimente une machine-outil.

Il reçoit une puissance électrique de 54 kW et est le siège de pertes valant 4 kW.

- Quel est le rôle d'un transformateur ?
- Est-il abaisseur ou élévateur de tension ?
- Calculer le rendement du transformateur.

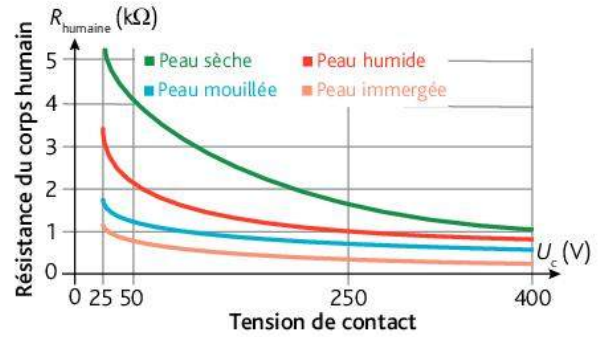


8 Pourquoi utiliser un transformateur dans un local humide ? Maths

Un ouvrier effectue des mesures sur un transformateur monophasé, dans un local humide situé dans une piscine municipale. Les caractéristiques du transformateur sont données : 230 V / 12 V, 60 VA, 50 Hz. Il effectue deux essais.

- **Essai à vide** : la valeur efficace de la tension aux bornes du secondaire vaut 12,4 V.
- **Essai en charge au point nominal** : le transformateur alimente un projecteur de lumière de facteur de puissance 0,7, appelant un courant nominal de valeur efficace 5,0 A. La puissance mesurée au primaire du transformateur vaut 47 W.

1. Calculer le rapport de transformation. Le transformateur est-il abaisseur ou élévateur de tension ?
2. Calculer la puissance consommée par le projecteur.
3. En déduire le rendement du transformateur au point nominal.
4. L'ouvrier touche accidentellement un fil dénudé alimentant le primaire du transformateur. Déterminer la résistance électrique du corps de l'ouvrier dont les mains sont humides.
5. En déduire l'intensité efficace du courant traversant son corps. Que risque-t-il ?



RÉSOLUTION DÉTAILLÉE

1 Le rapport de transformation vaut :

$$m = \frac{U_{2V}}{U_1} = \frac{12,4}{230} = 0,0539$$

→ Le transformateur est abaisseur de tension.

2 $P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 = 12 \times 5,0 \times 0,7 = 42 \text{ W}$.

3 Rendement du transformateur au point nominal $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{42}{47} = 0,89$.

4 D'après le graphique pour une tension de 230 V, la résistance des mains vaut 1,0 kΩ.

5 $I = \frac{U}{R} = \frac{230}{1000} = 0,230 \text{ A} = 230 \text{ mA}$.

L'ouvrier risque une fibrillation cardiaque.

La dangerosité du courant dépend aussi de la durée de contact.

À vous de jouer

9 Danger du courant électrique

Un ouvrier effectue des mesures sur un transformateur, situé dans une usine, dans un local sec. Les caractéristiques du transformateur réel sont les suivantes : transformateur monophasé 230 V / 400 V, 3,0 kVA, 50 Hz.

- **Essai à vide** : la valeur efficace de la tension aux bornes du secondaire vaut 408 V.
- **Essai en charge au point nominal** : le transformateur alimente une machine-outil monophasée de facteur de puissance 0,85, appelant un courant nominal de valeur efficace 7,5 A. La puissance mesurée au primaire du transformateur vaut 2,8 kW.

1. Calculer le rapport de transformation. Le transformateur est-il abaisseur ou élévateur de tension ?
2. Calculer la puissance consommée par la machine-outil.
3. En déduire le rendement du transformateur au point nominal.
4. L'ouvrier touche accidentellement un fil dénudé alimentant le primaire du transformateur. Déterminer la résistance électrique du corps de l'ouvrier dont les mains sont sèches.
5. En déduire l'intensité efficace du courant traversant son corps. Que risque-t-il ?

10 Réseau de transport et de distribution de l'énergie électrique.

» S'approprier • Mobiliser ses connaissances

DOC. Réseau de transport et de distribution de l'énergie électrique.



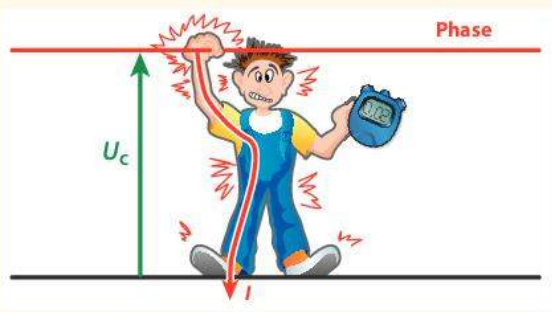
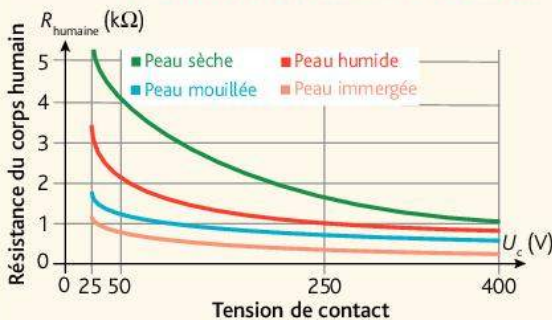
Attribuer à chaque dispositif numéroté son nom : réseau très haute et haute tension • réseau basse tension 230 V / 400 V • réseau moyenne tension 20 kV • centrale électrique • poste source • transformateur • particuliers et PME.

11 Électrisation

» S'approprier • Réaliser • Analyser **Maths**

Un technicien effectuant des travaux dans un local humide touche un appareil défectueux sous une tension efficace de 25 V pendant 2 s.

DOC. Résistance du corps humain en fonction de la tension de contact.



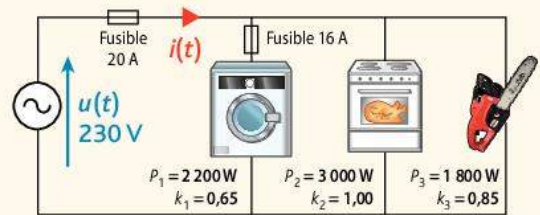
1. Comment évolue la résistance du corps humain en fonction de la tension de contact ?
2. Déterminer la résistance du corps humain dans ce cas.
3. En déduire l'intensité efficace du courant traversant le corps. En déduire les effets de ce courant sur l'ouvrier en vous aidant du graphique du cours « dangerosité du courant électrique » page 86.

12 Valeurs des fusibles

» Mobiliser ses connaissances • Reasonner • Réaliser

On branche sur une même ligne électrique un lave-linge de puissance active P_1 , un four électrique de puissance active P_2 et une tronçonneuse électrique de puissance active P_3 .

DOC. Schéma électrique de l'installation.

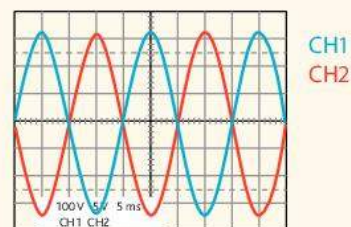


1. Quel est le rôle d'un fusible ?
2. Déterminer si la valeur du fusible 16 A pour protéger le lave-linge est suffisante.
3. Calculer la puissance active totale P_T de l'installation.
4. Déterminer si la valeur du fusible de 20 A sur la ligne est suffisante sachant que le facteur de puissance totale de l'installation vaut 0,82.
5. Que doit-on faire pour éviter qu'une intensité de courant soit trop grande dans le fil conducteur d'une habitation ?

13 Rapport de transformation d'un transformateur **Maths**

» S'approprier • Réaliser

DOC. Oscillogrammes des tensions aux bornes d'un transformateur.





Les tensions aux bornes du primaire et du secondaire d'un transformateur abaisseur de tension ont été relevées ci-dessus. Le transformateur est considéré comme parfait, il est constitué de 440 spires du côté primaire.

1. Quelle tension, primaire ou secondaire, est visualisée sur la voie 1 de l'oscilloscope ?
2. Déterminer les valeurs efficaces des tensions au primaire et au secondaire du transformateur.
3. En déduire le rapport de transformation.
4. Calculer le nombre de spires au secondaire du transformateur.

14 Incertitude sur la mesure des tensions pour déterminer m

Maths Mesure et incertitudes

» Mobiliser ses connaissances • Réaliser • Valider

Pour déterminer le rapport de transformation m d'un transformateur, on a mesuré 10 fois la tension efficace U_{2V} au secondaire d'un transformateur à l'aide d'un voltmètre dont l'erreur de mesure a pour expression $\varepsilon = 0,6 \%$ de la valeur lue + 10 U.R.

U_1 (V)	240,0	241,2	239,6	240,5	240,6
U_{2V} (V)	24,08	24,50	24,10	24,20	24,25
U_1 (V)	240,3	239,8	240,2	240,5	240,2
U_{2V} (V)	24,00	24,37	24,15	23,85	23,95

1. Calculer l'incertitude de répétabilité de mesure ε_{2A} (type A) sur la mesure de U_{2V} .
2. Calculer, pour la tension U_{2V} valant 24,00 V, l'incertitude de mesure due au voltmètre ε_{2B} (type B).
3. En déduire l'incertitude composée ε_{2total} en supposant que l'incertitude de type B reste constante pour toutes les valeurs de U_{2V} .

Incertitudes

Incertitude composée à partir des incertitudes types A et B : $\sigma_{total} = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}$.

15 Intérêt de transporter l'énergie électrique sous 400 kV

Application technologique

» Analyser • Raisonner • Réaliser • Valider • Communiquer

On se propose de comparer les pertes joules sur une ligne très haute tension de 400 kV et sur une ligne moyenne tension de 20 kV transportant une

puissance électrique de 120 MW sur une distance de 300 km.

La résistance linéique de la ligne vaut $0,06 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$.

Parcours A

1. Calculer la résistance de la ligne.
2. Calculer l'intensité efficace I_1 du courant circulant dans la ligne très haute tension, puis l'intensité efficace I_2 circulant dans la ligne moyenne tension.
3. Calculer les pertes joules dans chacune des lignes.
4. Justifier l'emploi de la très haute tension pour transporter l'énergie électrique sur de longues distances.

Parcours B

1. Calculer les pertes joules dans une ligne moyenne tension et dans une ligne très haute tension.
2. Justifier l'emploi de la très haute tension pour transporter l'énergie électrique sur de longues distances.

16 Rendement d'un transformateur

Application technologique

» Mobiliser ses connaissances • Réaliser • Valider



Un transformateur de distribution possède les caractéristiques nominales suivantes :

25 kVA, 20 kV / 400 V.

La puissance perdue au point nominal dans le transformateur vaut 915 W.

1. Calculer la valeur efficace nominale du courant secondaire I_{2N} .
2. Calculer la puissance active nominale P_{2N} au secondaire du transformateur pour une charge de facteur de puissance k de 0,80.
3. Calculer la puissance active nominale P_{1N} au primaire du transformateur.

- En déduire le rendement du transformateur lorsqu'il alimente une charge inductive.
- Répondre aux questions 2, 3 et 4 pour une charge purement résistive de facteur de puissance $k = 1$.
- La charge branchée aux bornes d'un transformateur a-t-elle une influence sur son rendement ?

17 Intérêt d'un facteur de puissance élevé

Application technologique

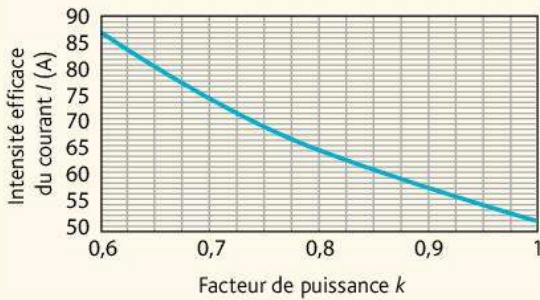
Maths

» Analyser • Réaliser • Valider • Communiquer

Deux habitations A et B sont alimentées chacune par une tension alternative. L'énergie électrique est transportée par une ligne de résistance électrique $1,5 \Omega$.

Le facteur de puissance de l'habitation A vaut 0,93 alors que celui de l'habitation B vaut 0,80.

DOC. Variation de la valeur efficace du courant pour une puissance active P donnée.



- Comment évolue l'intensité efficace du courant dans la ligne lorsque le facteur de puissance augmente ?
- Déterminer l'intensité efficace du courant appelée par chaque habitation.
- En déduire les pertes joules sur chacune des lignes électriques.
- Comparer les résultats et expliquer pourquoi les compagnies de distribution imposent un facteur de puissance minimale de 0,93 notamment pour les sites industriels.

18 Transformateur monophasé et plaque signalétique

» Mobiliser ses connaissances • Analyser • Réaliser

On se propose de déterminer les caractéristiques d'un transformateur monophasé dont la plaque signalétique est donnée ci-dessous. Pour cela un technicien a effectué deux essais, l'un à vide et

l'autre en charge au point nominal :

$f : 50 \text{ Hz}$

PRIMAIRE : 230 V

SECONDAIRE : 24 V

PUISSANCE : 60 VA

: 2,3 A NORME EN61558-2-4



Essai à vide : $U_1 = 230 \text{ V}$; $U_{2V} = 26 \text{ V}$.

Essai au point nominal : le transformateur est branché sur une charge purement résistive, on relève les valeurs suivantes :

$U_{1N} = 230 \text{ V}$; $U_{2N} = 24 \text{ V}$, $I_2 = 2,5 \text{ A}$, $P_1 = 67 \text{ W}$.

- Donner la signification des grandeurs inscrites sur la plaque signalétique.
- Proposer un montage permettant de relever les mesures lors de l'essai au point nominal.
- Calculer le rapport de transformation.
- Déterminer le rendement du transformateur.

19 Risque électrique

Application technologique

» Mobiliser ses connaissances • Réaliser • Valider •

Communiquer

Roxane recharge son hoverboard par l'intermédiaire d'un adaptateur qui contient un transformateur parfait $230 \text{ V} / 42 \text{ V}$, 84 VA , 50 Hz .



- Ce transformateur est-il élévateur ou abaisseur de tension ? Justifier la réponse.
- Calculer son rapport de transformation m .
- Roxane touche un fil au secondaire du transformateur sous une tension $U = 42 \text{ V}$ pendant $1,0 \text{ s}$. Son corps présente une résistance électrique R valant $4,0 \text{ k}\Omega$. Calculer l'intensité efficace du courant qui traverse son corps.
- Si la valeur efficace de la tension est de 230 V au lieu de 42 V , quelle est l'intensité efficace du courant qui traverse le corps de Roxane, en supposant que la résistance électrique reste constante ?
- Expliquer l'intérêt d'abaisser la tension.
- Quels dispositifs protègent les personnes contre les risques électriques ?

20 Câble en cuivre ou câble en aluminium sur les lignes haute tension ?

Une ligne haute tension aérienne, de longueur 10 km, transporte une puissance apparente de 30 MVA sous une tension de 63 kV.

Le câble peut être constitué soit d'aluminium soit de cuivre.

DOC. 1 Pertes lors du transport de l'énergie.

L'essentiel des pertes lors du transport de l'énergie électrique est lié au passage du courant électrique dans les matériaux conducteurs qui lui opposent une résistance (effet joule).

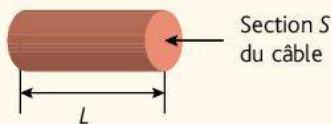
À puissance délivrée égale, plus la tension est élevée et l'intensité du courant réduite, plus les pertes en lignes sont faibles. Le courant transite donc sur les lignes électriques à haute et très haute tension sur le réseau de transport d'électricité français (63 000 à 400 000 volts). Sur les réseaux de distribution, la tension est réduite et les pertes sont donc plus importantes.

Sur le réseau de transport d'électricité, le gestionnaire RTE déclare un taux de pertes compris entre 2 % et 2,2 % depuis 2007. Sur les réseaux de distribution, le gestionnaire ERDF annonce que les pertes s'élèvent au total à près de 6 % de l'énergie acheminée (20 TWh/an).

En incluant toutes les autres pertes d'électricité en France entre le lieu de production et de consommation, les pertes totales avoisinent 10 % en moyenne.

<https://www.connaissancedesenergies.org/>

DOC. 2 Résistance électrique d'un câble.



$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

avec R résistance en (Ω), ρ résistivité du matériau en ($\Omega \cdot m$), L longueur du câble en (m), S section du câble en (m^2).



DOC. 3 Caractéristiques des matériaux.

Matériau	Résistivité ($\Omega \cdot m$)	Section S du câble (mm^2)	Masse volumique ($g \cdot cm^{-3}$)
Cuivre	$1,7 \times 10^{-8}$	218	8,96
Aluminium	$2,7 \times 10^{-8}$	218	2,7

» S'approprier • Analyser • Raisonner • Réaliser • Valider • Communiquer

1. Quels sont les deux réseaux transportant l'énergie électrique ? Quels sont leurs principales caractéristiques ?
2. Comment limiter les pertes dans les lignes qui transportent l'énergie électrique (plusieurs réponses attendues) ?
3. Calculer la résistance électrique de la ligne en cuivre, puis de la ligne en aluminium.
4. Calculer les pertes joules dans chacune des lignes.
5. Sachant que, sur cette distance, les pertes joules ne doivent pas dépasser 1 % de la puissance nominale, quel type de câble doit-on choisir ?
6. Les câbles haute tension des lignes aériennes sont souvent en aluminium. Justifiez ce choix.
7. Calculer les pertes joules dans le câble d'aluminium, long de 10 km si l'énergie électrique transportée est sous une tension de 20 kV. Le critère de 1 % de pertes est-il respecté ?

Mini-projet d'application

Comment réaliser un dispositif permettant de mesurer la puissance et l'énergie délivrées par une batterie en fonctionnement ?



DOC. 1 Objectif du projet

À l'aide d'une carte Arduino et d'un capteur de courant, on se propose de réaliser un dispositif permettant de mesurer la tension, l'intensité du courant et d'afficher la puissance et l'énergie délivrées par des éléments rechargeables comme ceux utilisés dans les téléphones portables.

Pour des raisons de facilité, vous utiliserez des piles rechargeables comme générateur et pour simuler le téléphone un rhéostat de 33Ω , 2,2 A.



DOC. 3 Capteur d'intensité

Ce capteur d'intensité fonctionnant comme un ampèremètre. Il permet de mesurer un courant de -5 A à $+5 \text{ A}$. Une sortie analogique est proportionnelle au courant mesuré ($2,5 \text{ V}$ pour 0 A).



Vers le grand oral

Sur le réseau de transport de l'électricité, les pertes totales ont représenté 10,5 milliards de kWh en 2012.

RTE a l'obligation de veiller à la compensation des pertes d'énergie liées au transport de l'électricité.

Expliquez les chemins de l'électricité. Renseignez-vous sur les différentes causes de ces pertes et quels moyens sont mis en œuvre pour les réduire.

Cahier des charges à suivre

- ➔ Mesurer, toutes les 100 ms, la tension et l'intensité du courant délivrées par les piles. Afficher les valeurs sur le moniteur série arduino.
- ➔ Modifier le programme afin de déterminer la puissance instantanée délivrée par les piles.
- ➔ Modifier le programme afin de déterminer l'énergie délivrée par les piles rechargeables toutes les secondes.
- ➔ Grâce à un programme python afficher la courbe donnant l'énergie délivrée par la pile en fonction du temps $E = f(t)$ toutes les secondes.

Fiche méthode 14, p. 292.

DOC. 2 Carte Arduino



Aide

- La carte Arduino convertit une grandeur analogique en une grandeur numérique sur 10 bits.
- La puissance en régime continu a pour expression $P = U \cdot I$.

S'approprier le projet avant de commencer

- 1 Se documenter sur le capteur de courant MR003-006.2
- 2 Rechercher sur Internet les commandes permettant de déclarer et de lire des grandeurs analogiques sur les broches d'une carte Arduino.
- 3 Rechercher des informations sur la conversion analogique-numérique d'une carte Arduino.

Se préparer

et réviser les acquis de 1^{re}

Pour l'enseignant

↓ Diaporama des questions flash

5

Questions flash



CORRIGÉS p. 300-304

Pour chaque question, trouver la ou les bonnes réponses.

13.6

1 Une température égale à 253 K, est aussi égale à ...

- a. 173 °C.
- b. 20 °C.
- c. - 20 °C.

2 La puissance P (en W) est liée à l'énergie E (en J) transférée pendant la durée Δt (en s) par la relation ...

- a. $P = E \cdot \Delta t$.
- b. $P = \frac{E}{\Delta t}$.
- c. $P = \frac{\Delta t}{E}$.

3 L'énergie se propage dans un matériau par ...

- a. convection.
- b. conduction.
- c. rayonnement.

4 Lorsque l'agitation des molécules d'un corps augmente, la température du corps ...

- a. augmente.
- b. diminue.
- c. ne change pas.

5 L'énergie Q transférée à un corps de masse m passant d'une température θ_i à θ_f se calcule avec la relation ...

- a. $Q = m \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_f)$.
- b. $Q = \frac{m}{c} \cdot (\theta_f - \theta_i)$.
- c. $Q = m \cdot c \cdot (\theta_f - \theta_i)$.

Capacités exigibles

- Définir le flux thermique à travers une paroi.
- Calculer le flux thermique à travers une paroi.
- Relier le flux thermique, la résistance thermique et la température.
- Déterminer expérimentalement la résistance thermique d'une paroi.

Activités 1 3

Activités 1 2 3 4

Activités 1 2

Activité 4

Énergie interne



Reportage :
une maison positive
(9 min 32)



Afin de réduire la consommation énergétique nationale, les futurs logements, appelés BEPOS (Bâtiment à Energie Positive), devront respecter la nouvelle norme RT2020 et produire au moins autant d'énergie (chaleur et électricité) qu'ils en consomment.



Liens avec les maths

- Calculs sur les volumes ou surfaces.
- Résolution d'équations littérales.
- Exploitation de courbes.

Activités **1 4**
Exercices **9 12 13 18**

Activité **2**
Exercices **8 14 15 18**

Exercice **18**

Activités

- 1 À combien dans un igloo ?
- 2 Attention, surchauffe de musique ?
- 3 Quel type de moule choisir pour faire des cannelés ?
- 4 Déterminer différentes résistances thermiques.

documentaire
documentaire

expérimentale

expérimentale

À combien dans un igloo ?

Capacités

- Calculer le flux thermique à travers une paroi.
- Calculer la valeur de la résistance thermique.

Objectif

Déterminer le nombre de personnes nécessaires pour atteindre l'équilibre thermique dans un igloo.

Adriel, un jeune inuit, vient de construire un igloo. Il souhaite savoir combien de personnes doivent entrer dans son igloo pour que la température intérieure reste constante.



DOC. 1 Un igloo.

Un igloo est construit en superposant des blocs de neige compacte. Malgré une température extérieure θ_{Ext} de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, la température intérieure θ_{Int} peut être maintenue à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

On considère l'igloo comme une demi-sphère de rayon moyen extérieur $r = 1,50\text{ m}$, d'épaisseur $e = 20\text{ cm}$. Adriel a pris soin de fermer l'entrée de l'igloo.

DOC. 2 Conductivité de la neige compactée.

La neige compactée est un bon isolant de conductivité thermique $\lambda = 0,28\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Liens avec les maths

Surface d'une sphère de rayon r :

$$S = 4\pi \cdot r^2.$$



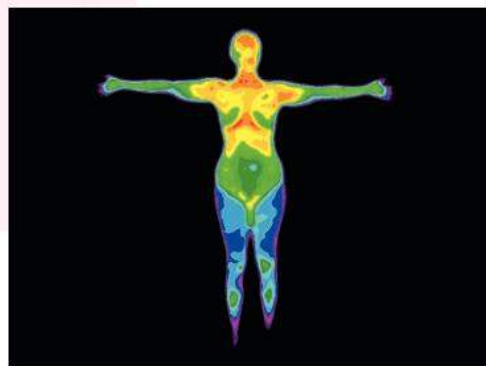
DOC. 3 Puissance thermique dégagée par le corps humain.

La température du corps reste stable parce que l'énergie qu'il libère est compensée par l'énergie dégagée par la respiration cellulaire ou les fermentations.

Globalement, la puissance thermique libérée par un corps humain dans les conditions de vie courante au repos est de l'ordre de 100 W .

Aide

Voir formule du flux thermique dans le cours page 105 et celle de la résistance thermique page 106.



DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

- 1 >> **S'approprier** Sur un schéma, représenter l'igloo et le sens du transfert d'énergie thermique.
- 2 >> **Analyser** Quelle doit être la relation entre le flux total à travers la paroi de l'igloo et la puissance thermique dégagée par les inuits pour maintenir la température constante à l'intérieur ?
- 3 >> **Réaliser** Calculer la surface moyenne extérieure S de l'igloo en contact avec le milieu extérieur.
- 4 >> **Réaliser** En vous aidant du cours, calculer la résistance thermique de la paroi de l'igloo.
- 5 >> **Réaliser** En déduire le flux thermique total à travers la paroi de l'igloo.

Conclusion

Si on néglige les pertes thermiques par le sol, en déduire le nombre de personnes nécessaires dans l'igloo pour que la température intérieure reste égale à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Attention, surchauffe de musique ?

Capacités

- Exploiter la relation entre flux thermique, résistance thermique et écart de température.
- Calculer la résistance thermique d'une paroi.

Objectif

Utiliser ou non un dissipateur thermique.

Lina vient de fabriquer un nouvel amplificateur pour sa chaîne Hifi mais elle remarque qu'un de ses composants, un régulateur de tension 78M05, chauffe beaucoup. Elle se demande si elle doit adapter un dissipateur de chaleur sur celui-ci.



DOC. 1 Régulateur de tension de type 78M05 en boîtier TO 220.

Le régulateur de tension permet de fournir, en sortie, une tension continue constante $V_{Out} = 5\text{ V}$ et un courant $I_{Out} = 0,5\text{ A}$.
Il est alimenté avec une tension continue $V_{In} = 10\text{ V}$ et un courant $I_{In} = 0,5\text{ A}$.
La puissance non utilisée en sortie est entièrement transformée en chaleur.
La température de fonctionnement maximale du régulateur est $\theta_{Max} = 150\text{ }^\circ\text{C}$.

DOC. 2 Régulateur sans dissipateur.

La résistance thermique totale entre le composant et l'air est donnée par le constructeur.
Pour un boîtier TO 220, elle est notée $R_{TO\ 220} = 62,5\text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$.

Aide

$$P = U \cdot I$$

avec U en volts (V), I en ampères (A), P en watts (W).

DOC. 3 Résistance thermique.

La résistance thermique totale $R_{Th\text{-}Paroi}$ d'une paroi (en $\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$) s'exprime par :

$$R_{Th\text{-}Paroi} = \frac{\theta_{chaud} - \theta_{froid}}{\Phi}$$

avec θ_{chaud} la température du milieu chaud et θ_{froid} la température du milieu froid, exprimées en kelvin (K), Φ flux thermique total à travers la paroi en (W).

DOC. 4 Régulateur avec dissipateur.

Lorsque le dissipateur est monté sur le régulateur, la résistance thermique totale entre le composant électronique et l'air est :

$$R_{C\text{-}Air} = R_{C\text{-}Boîtier} + R_{Boîtier\text{-}Dissip} + R_{Dissip\text{-}Air}$$

- La résistance entre le composant (C) et le boîtier vaut : $R_{C\text{-}Boîtier} = 5,0\text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$.
- La résistance entre le boîtier et le dissipateur vaut : $R_{Boîtier\text{-}Dissip} = 0,25\text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$.
- La résistance entre le dissipateur et l'air vaut : $R_{Dissip\text{-}Air} = 9,6\text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$.



DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » S'approprier Pourquoi utiliser un dissipateur avec un composant électronique ?

2 » Analyser Déterminer la puissance $P_{Chaleur}$ transformée en chaleur dans le régulateur.

3 » Analyser • Réaliser En fonctionnement, la température du composant augmente jusqu'à ce que le flux total Φ soit égal à la puissance $P_{Chaleur}$ générée. En déduire la température atteinte θ_1 du composant lorsque la température extérieure est $\theta_{Ext} = 25\text{ }^\circ\text{C}$.

4 » Analyser • Réaliser Calculer la résistance thermique du régulateur lorsqu'il est assemblé au dissipateur.

5 » Réaliser En déduire la température θ_2 du composant lorsque la température extérieure est $\theta_{Ext} = 25\text{ }^\circ\text{C}$.

Conclusion

Lina doit-elle monter un dissipateur thermique sur son régulateur ? Justifier.

Quel type de moule choisir pour faire des cannelés ?



Capacités

- Définir le flux thermique à travers une paroi comme un débit d'énergie équivalent à une puissance.
- Relier qualitativement l'augmentation de la résistance thermique d'une paroi à la diminution du flux thermique la traversant pour un même écart de température.



Objectif du TP

Étudier les caractéristiques de conduction thermique de différents métaux.

Faire cuire ses cannelés n'est pas chose aisée. Il faut, pour réussir leur cuisson, un moule métallique dans lequel la température sera rapidement uniforme.

MATÉRIEL

- Une étoile 4 métaux (fer, cuivre, aluminium et zinc).
- Une bougie chauffe plat.
- De la paraffine.

DOC. 1 Schéma de l'installation : une étoile 4 métaux.



DOC. 2 Résistance thermique surfacique.

La résistance thermique surfacique, définie pour une paroi de 1 m^2 , est donnée par :

$$R_{\text{Th-Paroi}} = \frac{e}{\lambda} = \frac{\theta_{\text{chaud}} - \theta_{\text{froid}}}{\varphi}$$

avec θ_{chaud} la température du milieu chaud et θ_{froid} la température du milieu froid, exprimées en kelvin (K), φ flux thermique total à travers la paroi en (W).

Liens avec les maths

- Lorsqu'une grandeur A est proportionnelle à une grandeur B alors $A = k \cdot B$: dans ce cas, si B augmente alors A augmente.
- Lorsqu'une grandeur A est inversement proportionnel à une grandeur B alors $A = \frac{k}{B}$: dans ce cas, si B augmente alors A diminue.

ÉTAPE 1 Manipulation

1. Déposer un petit morceau de paraffine dans chaque cavité en bout de tige métallique, puis allumer la bougie.
2. Observer.

ÉTAPE 2 Exploitation

3. Quel est, parmi les quatre métaux, le meilleur conducteur de chaleur ?
4. Comparer les flux thermiques dans chaque métal.
5. En déduire celui qui a la résistance thermique la plus faible, puis celui qui a la plus élevée.
6. En déduire celui qui a la conductivité la plus faible et celui qui a la plus élevée.

Conclusion du TP

Quel métal choisir pour un moule à cannelés ? Justifier votre réponse en vous appuyant sur l'exploitation précédente.

Déterminer différentes résistances thermiques

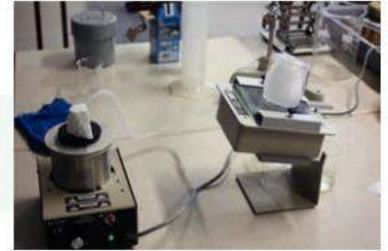


Capacités

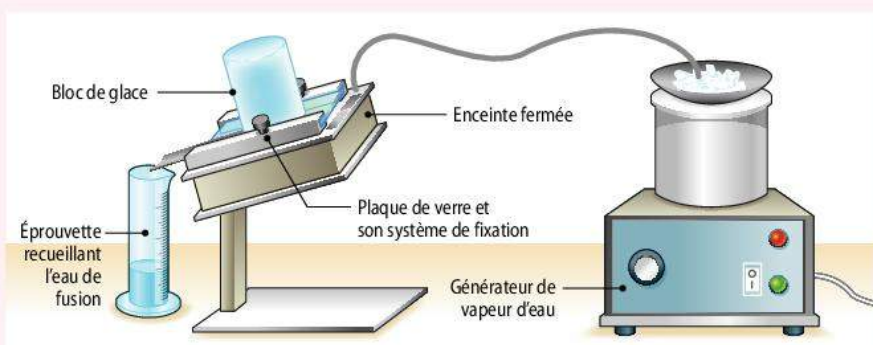
- Calculer le flux thermique à travers une paroi.
- Déterminer expérimentalement la résistance thermique d'une paroi.

Objectif du TP

Mettre en œuvre une démarche expérimentale afin de déterminer les résistances thermiques de matériaux différents.



DOC. 1 Schéma de l'installation.



La chaleur émise par la chambre à vapeur (100 °C) atteint le glaçon pour le faire fondre après avoir traversé le matériau. Connaissant la masse de glace fondue (m_{eau} en g), on peut ainsi déterminer l'énergie thermique Q qui est passée à travers le matériau : $Q = 333,9 \times m_{\text{eau}}$ (en J).

MATÉRIEL

- Une maquette chambre à vapeur avec des plaques de différents matériaux (laine de verre, bois 8 mm, plexiglas).
- De l'eau distillée.
- Un chronomètre.
- Une éprouvette de 100 mL.
- Des gants anti-chaleur.
- Un glaçon cylindrique.
- Un pied à coulisse.

ÉTAPE 1 Protocole

1. Proposer un protocole permettant de déterminer la résistance thermique d'un matériau.

Aide

Voir formules et définitions du flux thermique et de la résistance thermique dans le cours page 105.

ÉTAPE 2 Mesure du « blanc »

2. Lorsqu'on laisse le glaçon à température ambiante, il fond. La mesure du blanc consiste à déterminer la masse de glace fondue à cause de l'énergie thermique apportée par l'air de la salle durant 4 minutes. Mesurer le blanc.

Aide

- Attendre que le régime permanent soit atteint pour débiter les mesures : laisser fondre le glaçon jusqu'à ce que cela coule de façon régulière dans un béccher poubelle.
- Tourner le glaçon régulièrement lors de la manipulation pour qu'il garde sa forme cylindrique.

ÉTAPE 3 Détermination des résistances thermiques

3. Mesurer le diamètre moyen du glaçon cylindrique et la masse d'eau fondue pendant 4 minutes pour un matériau d'épaisseur e .
4. Calculer ensuite pour chaque matériau :
 - a. l'énergie Q échangée et le flux thermique Φ ;
 - b. la surface d'échange S ;
 - c. la résistance thermique R_{th} de chaque matériau.

Conclusion du TP

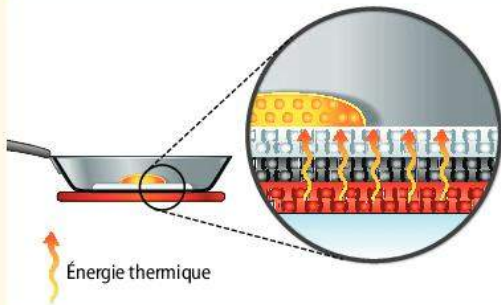
Comparer les résistances thermiques des différents matériaux et les classer du plus isolant vers le moins isolant.

A Transfert thermique

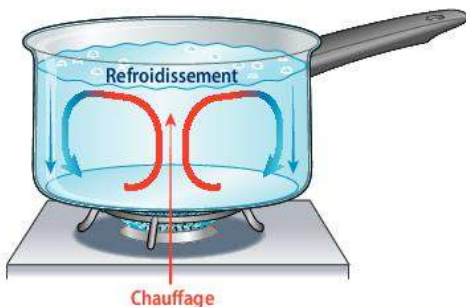
COURS

- Lorsque deux corps, un chaud et un froid, sont séparés par une paroi, il se crée un **transfert d'énergie irréversible et spontané**, toujours du corps chaud vers le corps froid, à travers la paroi.

- Les transferts thermiques peuvent s'effectuer de plusieurs façons.
- **Dans les solides**, les transferts thermiques s'effectuent uniquement par **conduction** thermique. Ce mode de propagation de l'énergie (également appelée chaleur) dans la paroi se fait sans déplacement de matière : l'agitation des atomes est diffusée, de proche en proche, à partir de la partie chauffée du matériau.



- En présence d'un **liquide**, les transferts thermiques peuvent s'effectuer par **convection** : l'agitation des atomes est transmise de proche et proche et transportée par mouvement du fluide.



- En général, le transport d'énergie par convection est plus efficace que par conduction.

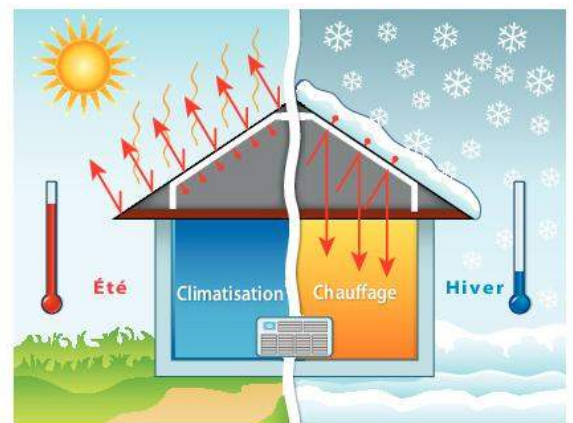
INFOS FLASH

Naturellement, lorsqu'une soupe est trop chaude, vous soufflez dessus pour la refroidir. Vous favorisez ainsi l'échange par convection.

- Dans les radiateurs, les chaudières, les dissipateurs thermiques, etc., un fluide chaud (l'eau dans les canalisations) cède sa chaleur au fluide froid (l'air ambiant) au travers de la **paroi** sans que les fluides ne se mélangent.
- Les transferts thermiques dépendent :
 - de la surface d'échange entre le corps chaud et le corps froid ;
 - des matériaux utilisés ;
 - des fluides présents.

- Plus la surface de contact est grande, plus l'énergie thermique transmise est importante.
- En thermique du bâtiment, les murs comme les pans de toitures constituent l'enveloppe du bâtiment et sa surface d'échange avec le milieu extérieur. L'**isolation thermique** vise, dans ce cas, à diminuer l'échange d'énergie. Ainsi, le choix des **matériaux** permet, pour une même surface de minimiser les transferts thermiques avec l'air extérieur.

Exemple : En hiver, l'isolation permet de limiter le transfert d'énergie de l'intérieur vers l'extérieur plus froid. Alors qu'en été, le transfert thermique se fait dans le sens inverse.



B Flux thermique

COURS

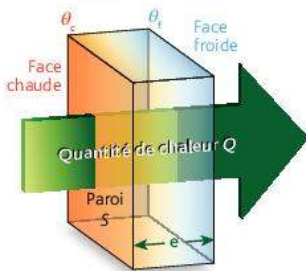
- Le **flux thermique**, noté Φ , correspond à la quantité d'énergie, exprimée en joules, qui traverse l'ensemble de la paroi chaque seconde. Le flux thermique est donc équivalent à une puissance et est exprimé en watts :

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

avec Q quantité d'énergie, exprimée en joules (J), traversant la paroi pendant la durée Δt , en secondes (s), Φ flux thermique, en watts (W).

Exemple : Si une paroi est traversée par une quantité d'énergie $Q = 144$ kJ pendant 2 heures, alors le flux thermique à travers cette paroi est :

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{144 \times 10^3}{2 \times 3\,600} = 20 \text{ W.}$$



- Le **flux thermique surfacique** φ est l'énergie thermique qui traverse seulement 1 m^2 de la paroi chaque seconde :

$$\varphi = \frac{\Phi}{S}$$

avec Φ flux thermique à travers toute la paroi en watts (W), S surface de la paroi en mètres carrés (m^2), φ flux thermique surfacique, en watts par m^2 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$).

Exemple : Si dans l'exemple précédent, la paroi a une surface $S = 10 \text{ m}^2$, alors le flux surfacique est :

$$\varphi = \frac{\Phi}{S} = \frac{20}{10} = 2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$$

C Conduction thermique

COURS

1 Conductivité thermique

- Certains matériaux, comme les métaux, ont la propriété de conduire facilement la chaleur.
- D'autres matériaux, au contraire, laissent difficilement passer la chaleur : ce sont des **isolants thermiques**.
- Cette capacité à conduire la chaleur est traduite par la **conductivité** λ du matériau en ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).
- Plus la conductivité est élevée, plus le matériau est conducteur et inversement.

Exemple : Le matériau le plus conducteur est donc le matériau possédant la conductivité la plus élevée, ici le cuivre. Le plus isolant est donc l'air.



INFOS FLASH

La sensation de froid que l'on ressent au contact d'une règle métallique ou d'un carrelage est due à la conduction thermique, très différente pour ces deux matériaux.

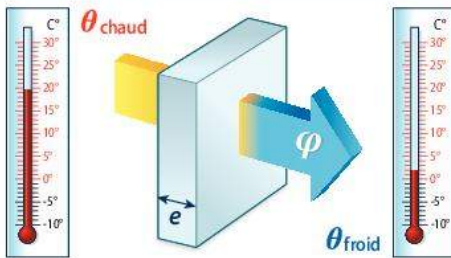
	Matériau	Conductivité λ à 20 °C, en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Gaz	Air	0,0262
Solide	Polystyrène expansé	0,036
	Laine de verre	0,040
	Bois	≈ 0,16
	Brique	0,84
	Béton	0,92
	Verre	1,2
	Acier	46
	Cuivre	386

2 Résistance thermique

- En régime permanent ou stationnaire, c'est-à-dire lorsque les températures de chaque côté de la paroi ne dépendent pas du temps, on définit la **résistance thermique surfacique** R_{th} d'un matériau en $(m^2 \cdot K \cdot W^{-1})$:

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda} = \frac{\theta_{chaud} - \theta_{froid}}{\phi}$$

- avec e épaisseur de la paroi en mètres (m), λ conductivité du matériau constituant la paroi en $(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$, θ_{chaud} la température du milieu chaud et θ_{froid} température du milieu froid, exprimées en kelvin (K), ϕ le flux thermique surfacique à travers le matériau en $(W \cdot m^{-2})$.



Astuce


Les variations de température $\theta_{chaud} - \theta_{froid}$ exprimées en degrés Celsius ou en Kelvin sont égales. Dans ce cas, la résistance thermique peut s'exprimer aussi bien en $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ qu'en $m^2 \cdot ^\circ C \cdot W^{-1}$.


Lien vidéo Animation : conduction thermique 

- La résistance thermique traduit donc la capacité de la paroi à s'opposer au transfert d'énergie. Plus la résistance thermique est élevée, plus le flux thermique est faible et plus la paroi est isolante.

Exemple : La résistance thermique R_{th} calculée ci-dessus est une résistance thermique surfacique. C'est celle indiquée sur l'étiquette des isolants vendus en magasin.

Ici, $R_{th} = \frac{e}{\lambda} = \frac{100 \times 10^{-3}}{0,032} = 3,15 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ pour de la laine de verre.

 SAINT-GOBAIN ISOVER Les Mirrors - 92096 LA DEFENSE CEDEX Année apposition marquage CE / 05 DOP n°0001-13 Code d'identification unique 02 02 02 www.isoover.fr/DOP-0001-13.pdf MW - EN 13162 2012 + A1 2019 - T3 - MU1 - WS - A615		
$R_D m^2 \cdot KW$	$\lambda_D W/(m \cdot K)$	Euroclasse
3,15	0,032	F
Epaisseur mm	Longueur m	Largeur m
100	2,70	1,20
$m^2/colis$	Pièces/colis	
3,24	1	
Isolation Thermique des Bâtiments (ITIB)		
GR 32 Roulé		
revêtu Kraft		

Lien vidéo Animation : changement de température 

3 Résistance thermique d'une paroi multicouche

- Lorsque l'énergie traverse plusieurs couches de matériaux différents, les résistances thermiques s'ajoutent.

$$R_{Th \text{ Total}} = R_{Th \text{ Mur}} + R_{Th \text{ Isolant}} + R_{Th \text{ Finition}}$$

INFOS FLASH

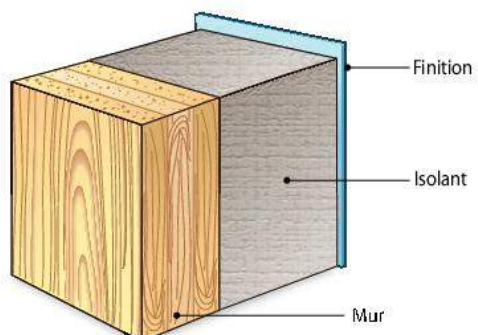
Les vitres à double vitrage voire triple vitrage emprisonnent une fine couche de gaz pour augmenter la résistance thermique.

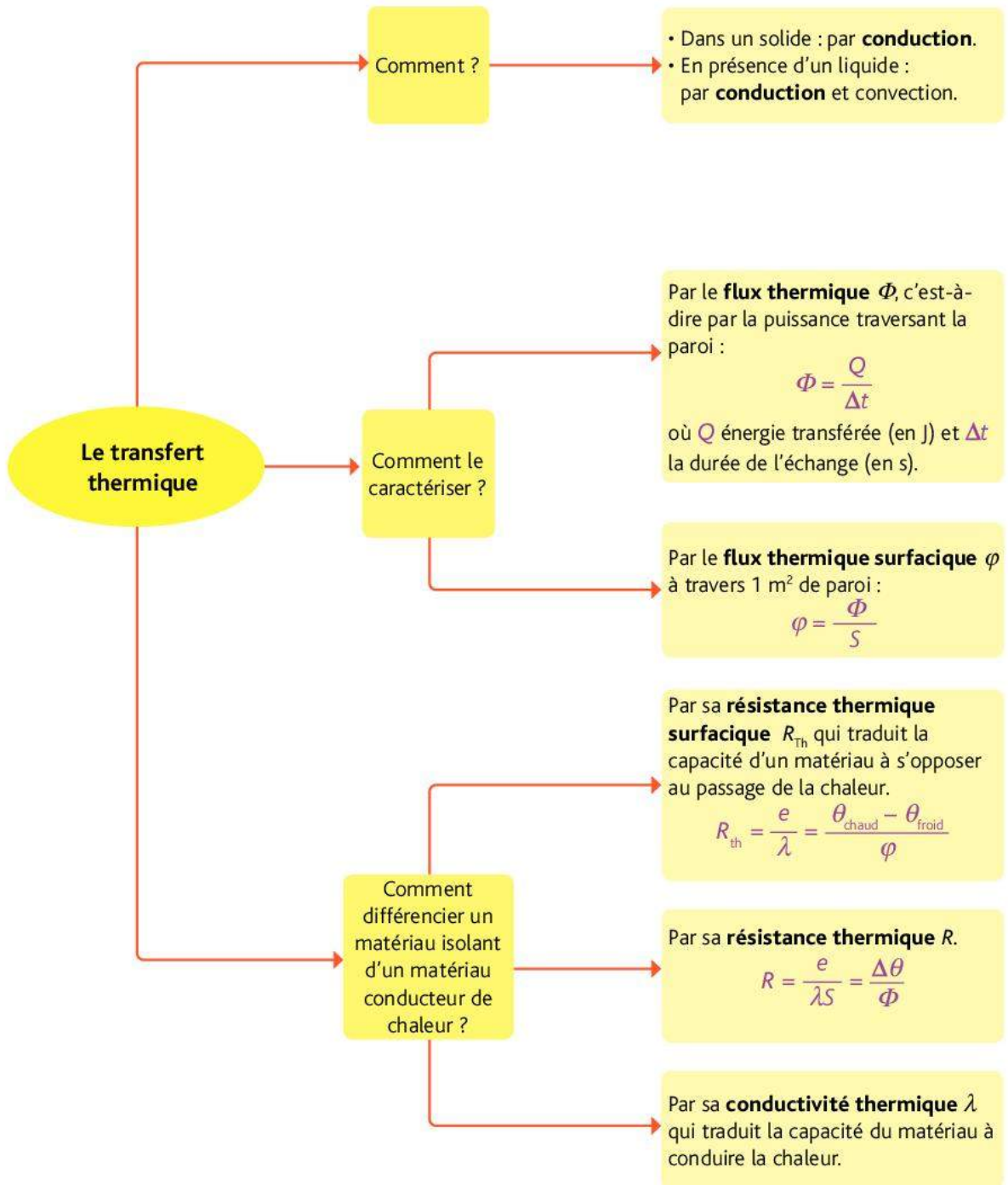
Exemple :

Résistance thermique d'un mur constitué de :

- 5 cm de bois $R_{Th \text{ Bois}} = 0,35 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$.
- 10 cm isolant $R_{Th \text{ Isolant}} = 2,50 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$.

$$\text{Alors } R_{Th \text{ Mur}} = R_{Th \text{ Bois}} + R_{Th \text{ Isolant}} = 0,35 + 2,50 = 2,85 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$





Questions flash  Pour chaque question, trouver la ou les bonne(s) réponse(s).



CORRIGÉS p. 300-304

- 1** Le flux thermique à travers une paroi est équivalent à ...
- une énergie.
 - une puissance.
 - un rayonnement.

- 2** Le flux surfacique varie avec ...
- la surface de la paroi.
 - les températures de chaque côté de la paroi.
 - la durée.

- 3** Quel matériau est le plus isolant ?

Matériau	Conductivité λ à 20°C, en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Air	0,0262
Bois	0,16
Huile	0,10

- L'air.
- Le bois.
- L'huile.

- 4** Quel matériau ci-dessus possède la résistance thermique la plus faible ?

- L'air.
- Le bois.
- L'huile.

- 5** La résistance thermique d'un matériau dépend ...

- de l'épaisseur du matériau.
- des températures de chaque côté du matériau.
- de la nature du matériau.

- 6** La résistance thermique totale d'une paroi constituée de plusieurs couches ...

- est le produit des résistances thermiques de chaque couche.
- ne dépend pas des résistances thermiques des différentes couches.
- est la somme des résistances thermiques de chaque couche.

Vrai ou Faux ? Pour chaque proposition, déterminer si elle est vraie ou fausse.

- Le flux thermique surfacique s'exprime en watts.
- Plus la résistance thermique est faible, plus le flux thermique à travers une paroi est élevé.
- La résistance thermique est proportionnelle à la conductivité.

- Une résistance thermique s'exprime en ohms.
- La résistance thermique R_{th} indiquée sur les étiquettes d'isolant est une résistance thermique surfacique.

A Transfert thermique

1 Un glaçon en été

Pour garder son corps chaud en hiver, on s'enveloppe d'une ou de plusieurs couches de vêtements chauds.

Si on veut qu'un glaçon, sorti du réfrigérateur en été, fonde lentement, doit-on l'envelopper dans des vêtements chauds ou le laisser à l'air libre ? Justifier.



2 Pieds nus

Un matin, au réveil, Julie se lève et traverse sa maison, pieds nus sur le parquet en bois. Elle arrive dans la cuisine et trouve le carrelage froid. La température intérieure de la maison est de 18 °C.

1. Quelles sont les températures du parquet et du carrelage ?
2. Lequel de ces deux matériaux est le meilleur conducteur de chaleur ?
3. Comment interpréter ces différences de sensations entre le parquet en bois et le carrelage en utilisant le flux thermique ?
4. Le corps humain est-il un bon thermomètre ?

Données

- Conductivité thermique du bois : $\lambda_{\text{bois}} = 0,16 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Conductivité thermique du carrelage : $\lambda_{\text{carrelage}} = 1,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

B Flux thermique

3 Flux à travers un mur

Une maison est séparée de son garage par un mur en brique de surface totale $S = 15 \text{ m}^2$ et d'épaisseur $e = 20 \text{ cm}$. En plein été, la température dans la maison est de 18 °C, alors que la température du garage monte à 25 °C. L'énergie thermique Q qui le traverse en 24 h est égale à 10,6 kW · h.

1. Par quel mode de transfert, l'énergie traverse-t-elle le mur ?
2. Dans quel sens s'effectue ce transfert thermique ?
3. Calculer le flux thermique à travers le mur.
4. En déduire le flux thermique surfacique.

Astuce

Bien penser à exprimer toutes les grandeurs dans le système SI.

C Conduction thermique

4 Flux à travers un mur

Lisa veut se faire une cabane avec les matériaux de récupération ci-dessous :

Matériau	Conductivité λ à 20 °C, en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Air	0,0262
Laine de verre	0,04
Bois	$\approx 0,16$
Brique	0,84
Verre	1,2
Cuivre	386

1. Quel matériau est le plus isolant ? Le meilleur conducteur thermique ?
2. À épaisseur égale, quel matériau possède la résistance thermique la plus élevée ?

5 Au chaud dans la cocotte

Élie souhaite garder un plat chaud en le mettant dans une cocotte.



1. Dans quel sens se fait le transfert thermique ?
2. Il dispose de deux cocottes : une en cuivre et une en fonte. Laquelle possède la résistance thermique la plus élevée ?
3. Pour garder le plat chaud plus longtemps, vaut-il mieux utiliser la cocotte en fonte ou la cocotte en cuivre ? Justifier.

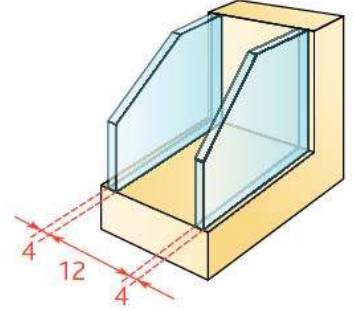
Données

- Conductivité thermique du cuivre : $\lambda_{\text{cuivre}} = 386 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Conductivité thermique de la fonte : $\lambda_{\text{carrelage}} = 55 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.



6 Double vitrage

Jamel possède, dans sa maison, une grande baie vitrée simple vitrage de longueur $L = 240$ cm et de hauteur $h = 215$ cm. Il souhaite savoir quelles économies d'énergie lui ferait faire l'achat d'une baie double vitrage lorsque la température intérieure est de 18 °C et la température extérieure de $5,0$ °C. Une fenêtre simple vitrage n'est composée que d'une vitre en verre de $4,0$ mm d'épaisseur.



Une fenêtre double vitrage est composée de deux vitres en verre de $4,0$ mm séparées par 12 mm d'argon.

- Déterminer la résistance thermique de la baie simple vitrage.
- En déduire le flux thermique total à travers la baie.
- Calculer la résistance thermique de la baie double vitrage.
- En déduire le flux thermique total à travers la baie double vitrage.
- Quelle puissance Jamel peut-il économiser ?

INFOS FLASH

L'argon a presque la même conductivité que l'air. En revanche le développement des bactéries et l'oxydation sont limités en utilisant ce gaz.

Données

- Conductivité thermique du verre : $\lambda_v = 1,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Conductivité thermique de l'argon : $\lambda_{Ar} = 0,018 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

RÉSOLUTION DÉTAILLÉE

1 À La résistance thermique totale de la baie simple vitrage est :

$$R_{th\ verre} = \frac{e_v}{\lambda_v} = \frac{4,0 \times 10^{-3}}{1,2} = 3,3 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

2 Le flux total à travers la baie est donc :

$$\Phi_{verre} = \varphi_{verre} \cdot S = \frac{\theta_{chaud} - \theta_{froid}}{R_{th\ verre}} \cdot L \cdot h = \frac{18 - 5,0}{3,3 \times 10^{-3}} \times 2,40 \times 2,15 = 20 \text{ kW}$$

3 La résistance thermique de la baie double vitrage est : $R_{th\ double} = R_{th\ verre} + R_{th\ argon} + R_{th\ verre}$

$$R_{th\ double} = \frac{e_v}{\lambda_v} + \frac{e_{Ar}}{\lambda_{Ar}} + \frac{e_v}{\lambda_v} = 2 \times \frac{4,0 \times 10^{-3}}{0,018} = 0,67 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

4 Dans ce cas, le flux thermique à travers la baie double vitrage est :

$$\Phi_{double} = \varphi_{double} \cdot S = \frac{\theta_{chaud} - \theta_{froid}}{R_{th\ double}} \cdot L \cdot h = \frac{18 - 5,0}{0,67} \times 2,40 \times 2,15 = 0,10 \text{ kW}$$

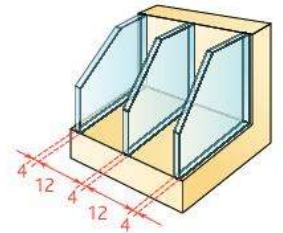
5 En adoptant un double vitrage, le pourcentage de puissance économisée est :

$$p_{\text{économisée}} = \frac{\Phi_{verre} - \Phi_{double}}{\Phi_{verre}} = 0,995 = 99,5 \%$$

À vous de jouer

7 Triple vitrage

Jamel souhaite maintenant connaître les économies que lui ferait faire un triple vitrage pour ses fenêtres de longueur $L = 120$ cm et de hauteur $h = 125$ cm. Une fenêtre triple vitrage est composée de trois vitres en verre de $4,0$ mm séparées chacune par 12 mm d'argon.



- Déterminer la résistance thermique de la baie double vitrage.
- En déduire le flux thermique total à travers la baie.
- Calculer la résistance thermique de la baie triple vitrage.
- En déduire le flux thermique total à travers la baie triple vitrage.
- Quelle puissance peut-on économiser avec une baie triple vitrage par rapport à une baie double vitrage ?

8 Béton ou laine minérale ? Maths

» Mobiliser ses connaissances • Analyser • Réaliser

Quelle est l'épaisseur e_b nécessaire pour qu'une paroi en béton armé présente les mêmes performances thermiques qu'une paroi en laine minérale d'épaisseur $e_l = 5,0$ cm ?

Données

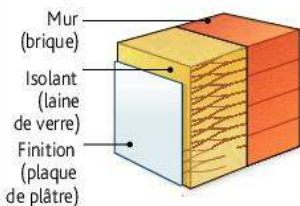
- Conductivité thermique du béton : $\lambda_b = 2,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Conductivité thermique de la laine minérale : $\lambda_l = 0,040 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

9 Cabane de jardin Maths

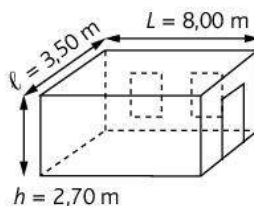
» Mobiliser ses connaissances • Analyser • Réaliser

Les murs extérieurs d'une cabane de jardin sont constitués de 10 cm de brique pleine, de 10 cm d'isolation en laine de verre et de 1,3 cm de plâtre.

Coupe d'un mur extérieur



Dimensions de la cabane



1. Déterminer la surface des murs de la cabane en ne tenant pas compte de la porte et des fenêtres.
2. Calculer la résistance thermique surfacique des murs.
3. En déduire la valeur du flux thermique surfacique par conduction à travers les murs de la cabane lorsque la température intérieure est de 18°C et la température extérieure de 0°C .
4. Calculer le flux thermique total à travers les murs de la cabane.
5. En déduire l'énergie thermique Q dissipée chaque jour vers l'extérieur en kWh.

Données

Matériau	Laine de verre	Plaque de plâtre	Brique pleine
Conductivité thermique λ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	0,040	0,25	1,0

10 Isolation d'un plafond

» Mobiliser ses connaissances • Analyser • Réaliser

• Communiquer

Un plafond non isolé de 100 m^2 a une résistance thermique R_{th1} de $0,59 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. La température intérieure est de 20°C et la température au-dessus

du plafond est de 5°C .

1. Calculer le flux thermique surfacique φ_1 à travers le plafond non isolé.
2. En déduire le flux total Φ_1 à travers le plafond.
3. On souhaite améliorer l'isolation en projetant 25 centimètres de ouate de cellulose sur le dessus du plafond. La conductivité thermique de la ouate de cellulose est de $0,042 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
 - a. Calculer la résistance thermique $R_{\text{th ouate}}$ de cette épaisseur de ouate de cellulose.
 - b. En déduire la résistance thermique R_{th2} totale du plafond isolé.
 - c. Calculer le nouveau flux thermique surfacique φ_2 , puis total Φ_2 traversant le plafond.
4. Que devient le flux thermique à travers le plafond lorsque la résistance thermique augmente ?

11 Conductivité d'une bouteille isotherme

Application technologique

» S'approprier • Raisonner • Réaliser

On peut lire sur le descriptif d'une bouteille isotherme, qu'un litre de boisson chaude (eau) à 65°C , placée à l'intérieur de la bouteille, lorsque la température extérieure est de 20°C , perdra 3°C chaque heure.



Sachant que la variation d'énergie interne d'un corps est $\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ avec ΔQ variation d'énergie interne en (J), m masse du corps en (kg), c capacité thermique massique en ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), ΔT variation de température en kelvins.

1. Déterminer la variation d'énergie interne de l'eau chaude en une heure à l'intérieur de la bouteille isotherme.
2. On considère que toute l'énergie perdue par la boisson chaude traverse la paroi et que le flux reste constant. Calculer le flux thermique total Φ à travers la paroi de la bouteille.
3. La surface totale de la bouteille est estimée à $S = 0,080 \text{ m}^2$. En déduire le flux surfacique φ .
4. Calculer la résistance thermique de la paroi de la bouteille isotherme.
5. En déduire la conductivité thermique de la paroi de la bouteille sachant que l'épaisseur de la paroi est $e = 3,0$ cm.

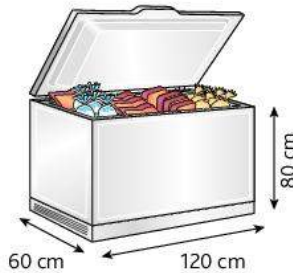
Données

- Masse volumique de l'eau $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Capacité thermique massique de l'eau $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

12 Un congélateur Maths

» S'approprier • Réaliser

On souhaite déterminer le flux des échanges d'énergie thermique entre l'intérieur et l'extérieur d'un congélateur, porte fermée, dont les dimensions sont données ci-contre.



Les parois extérieures du congélateur, qui contiennent des plaques de 90 mm d'épaisseur en mousse de polyuréthane, ont une résistance thermique globale : $R_{th,C} = 3,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

La température à l'intérieur du congélateur, $\theta_i = -18 \text{ }^\circ\text{C}$, et la température ambiante de la pièce dans laquelle il se trouve, $\theta_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, sont constantes.

1. Quel est le sens du transfert d'énergie thermique entre la pièce et l'intérieur du congélateur ?
2. L'expression « pertes thermiques » est-elle appropriée pour un congélateur ?

Parcours A

3. Calculer la valeur du flux d'énergie total Φ , entre l'extérieur et l'intérieur du congélateur.

Parcours B

3. Montrer que la surface extérieure des parois du congélateur S est égale à $4,32 \text{ m}^2$.
4. Calculer la valeur du flux d'énergie surfacique ϕ .
5. En déduire le flux thermique total Φ , entre l'extérieur et l'intérieur du congélateur.

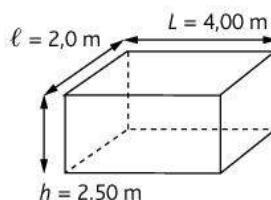
13 Cave à vin Maths

» S'approprier • Réaliser • Raisonner

Laurence vient de se construire une cave à vin dans son garage. La température dans la cave doit rester constante et égale à $12 \text{ }^\circ\text{C}$. Pour évaluer la puissance du chauffage nécessaire, elle fait appel à un professionnel qui estime que le flux surfacique ϕ_1 à travers les murs et le plafond est, au maximum, égal



Dimensions de la cave



à $500 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ lorsque la température du garage est minimale et égale à $2 \text{ }^\circ\text{C}$.

1. Dans quel sens se fait le transfert thermique ?
2. Déterminer la surface des murs et du plafond.
3. Calculer la valeur de la résistance thermique R_{th1} des murs et du plafond ?
4. En négligeant les pertes par le sol et par la porte, déterminer le flux thermique total Φ_1 à travers les murs et le plafond.
5. Quelle doit-être la puissance P_1 du chauffage pour maintenir la température constante ?
6. Laurence choisit plutôt d'acheter un radiateur de puissance $P_2 = 250 \text{ W}$ et d'améliorer l'isolation de sa cave. En déduire la valeur du nouveau flux Φ_2 pour maintenir la température constante.
7. Quelle doit alors être la nouvelle valeur de la résistance thermique R_{th2} ?
8. En déduire la valeur de la résistance thermique de l'isolant R_{th} isolant à ajouter.
9. Elle choisit d'isoler avec du polystyrène expansé de conductivité thermique $\lambda = 0,036 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Quelle épaisseur d'isolant doit-elle ajouter ?

14 Aménagement du cabanon Maths

» Analyser • Raisonner • Réaliser • Communiquer

Virginie décide d'aménager son cabanon de jardin en salle de jeux pour ses enfants.

Les murs et le toit sont constitués de bois de 3,0 centimètres d'épaisseur recouverts avec des panneaux isolants en fibre de bois de 10 centimètres d'épaisseur. Elle équipe enfin son cabanon d'un chauffage.

1. Déterminer la résistance thermique des murs et du toit.
2. Elle souhaite utiliser son cabanon en hiver. La température à l'intérieur et à l'extérieur sont égales toutes les deux à $-5 \text{ }^\circ\text{C}$. Que vaut alors le flux thermique total ?
3. Virginie met alors le chauffage en route. Que fait la température intérieure ? Que fait le flux thermique total ?
4. Que vaut le flux thermique total lorsque le système arrive à l'équilibre sachant que le chauffage fournit une puissance thermique $P = 500 \text{ W}$.
5. Si on néglige les pertes par le sol et par la porte, déterminer la température à l'intérieur du cabanon si la température extérieure reste égale à $-5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Données

Conductivités thermiques

• du bois : $\lambda_b = 1,15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

• de la fibre de bois $\lambda_f = 0,038 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

15 Calcul d'une résistance thermique de vêtements

Maths

Application technologique

» S'approprier • Raisonner



Lors d'une marche, le randonneur doit évacuer, au niveau de la peau, l'énergie thermique produite par son travail musculaire pour maintenir stable la température intérieure de son corps.

La puissance thermique, P_s , que libère le corps lors d'une marche à allure normale est d'environ 120 watts par mètre carré de peau.

1. Quelle grandeur doit être égale à 120 pour maintenir la température du corps constante ?
2. Quelle est alors la valeur de la résistance thermique des vêtements qu'il doit porter, s'il réalise une randonnée en haute montagne par une température extérieure de $-25\text{ }^\circ\text{C}$?
3. À partir des exemples proposés ci-dessous, choisir une tenue vestimentaire adaptée pour ce randonneur.
4. Jusqu'à quelle température extérieure le randonneur peut-il utiliser la tenue de ski ?

Tenue	Ski	Polaire légère	Polaire lourde
Résistance thermique ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)	0,310	0,465	0,620

Données

Température de la peau $\theta_{\text{peau}} = 33\text{ }^\circ\text{C}$.

16 Réglementation thermique RT 2020

Application technologique

» Mobiliser ses connaissances • Analyser • Réaliser

La RT 2020 est la réglementation thermique applicable à toutes les constructions neuves à partir de fin 2020. Elle définit les nouveaux standards de la construction et prévoit pour l'année 2020 la maison positive, une construction qui produit plus d'énergie qu'elle n'en consomme. Cette norme impose des valeurs minimales pour les résistances thermiques des parois en contact avec des zones froides (extérieur de la maison, comble, garage, etc.).

Un propriétaire souhaite savoir si son plafond, situé juste sous les combles, remplit bien les normes RT 2020.

Pour cela, il fait venir un professionnel qui évalue les pertes à travers son plafond égales à $P = 400\text{ W}$. Les mesures ont été faites avec une température intérieure $\theta_{\text{int}} = 20\text{ }^\circ\text{C}$ et une température dans les combles $\theta_{\text{combles}} = 8\text{ }^\circ\text{C}$.

La surface totale du plafond est de 100 m^2 .

1. Calculer l'énergie perdue à travers le plafond en une heure.
2. Calculer la résistance thermique du plafond. Son plafond respecte-t-il la valeur minimale de la résistance thermique surfacique imposée par la réglementation RT 2020 ?
3. Il souhaite donc renforcer son isolation en rajoutant de la laine minérale. Quelle épaisseur de laine doit-il rajouter pour respecter la réglementation ?
4. Quelle sera alors la valeur de la puissance perdue à travers le plafond après isolation ?

Données

Conductivité thermique de la laine minérale : $\lambda_L = 0,030\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Matériau	Résistance thermique minimale RT 2020 ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)
Combles	10
Murs	5
Sols	5

17 Panneaux en laine de roche

» Mobiliser ses connaissances • Analyser • Réaliser

Dans un magasin de bricolage, on peut lire le descriptif de panneaux en laine de roche, installés sous les toitures ou contre les murs pour les isoler.

Résistance thermique (coefficient)	1,2
Lambda (en W/mK)	0,037
Composant essentiel	Laine de roche
Finition du bord	Arrondi
Épaisseur (en mm)	45
Longueur (en m)	1,35
Largeur (en m)	0,6
Surface couverte par le produit (en m^2)	11,3

1. Quel est le rôle de ces panneaux ?
2. Pourquoi ce descriptif manque-t-il de rigueur ?
3. Définir la grandeur « Lambda » citée.
4. Vérifier la valeur de la résistance thermique.



18 Un poêle dans la classe Maths

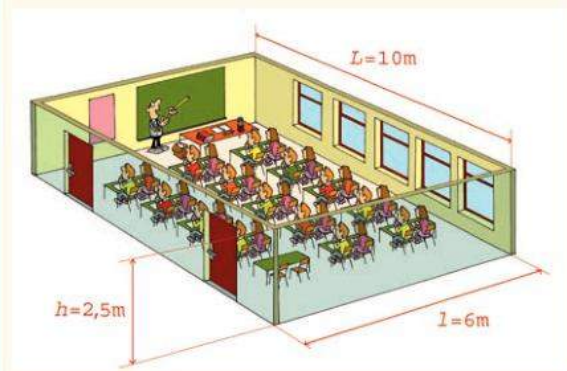
Monsieur Renaud, instituteur à Auvers-le-Hamon dans la Sarthe, veut installer un poêle à bois dans sa salle de classe comme système de chauffage. Il souhaite ainsi pouvoir maintenir une température intérieure de 20 °C y compris durant le mois le plus froid de l'hiver. Mais quelle doit être la puissance de ce poêle ?

DOC. 1 La salle de classe.

La salle de classe est dans la cour. Tous ses murs et son toit sont donc en contact avec l'extérieur. C'est un parallélépipède rectangle comprenant cinq fenêtres de 1 m² chacune et deux portes de 2 m² chacune.

Lors de cette étude, on considérera que :

- le poêle à bois est l'unique source de chaleur à l'intérieur de la salle ;
- on néglige les pertes de chaleur par le sol et celles dues à l'aération de la salle.

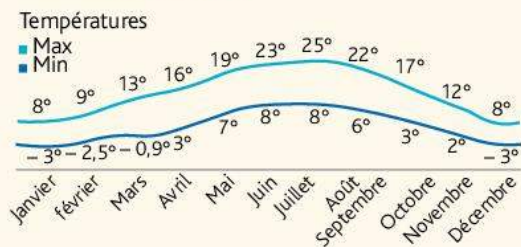


Données

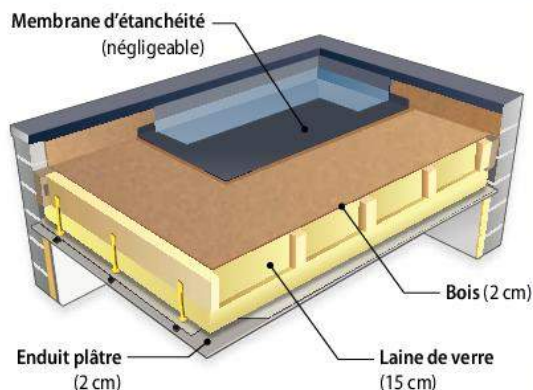
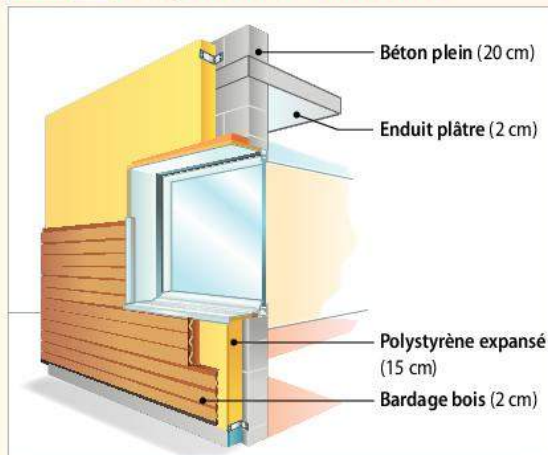
- La résistance thermique de la membrane d'étanchéité est négligeable.
- Résistance thermique du vitrage de la maison : $R_{th\ Vitre} = 0,67 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.
- Résistance thermique des portes : $R_{th\ Porte} = 0,50 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.
- Conductivités thermiques

Matériau	Conductivité λ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
Enduit plâtre	0,57
Béton plein	1,75
Polystyrène expansé	0,036
Bardage bois	0,18
Laine de verre	0,032

DOC. 2 Les températures à Auvers-Le-Hamon.



DOC. 3 Coupe des murs et du toit.



» S'approprier • Mobiliser ses connaissances •

Raisonner • Réaliser

1. Déterminer la résistance thermique des murs de la salle, puis celle du toit.
2. Calculer la surface S_{Murs} des murs et S_{Toit} du toit.
3. Calculer le flux total à travers chaque matériau pour le mois le plus froid de l'année.
4. En déduire la puissance du poêle à installer.

Mini-projet d'application

Comment mesurer la résistance thermique d'un mur de la classe?



Cahier des charges à suivre

- ➔ Mettre en œuvre une sonde de température et une Arduino afin de mesurer des températures.
- ➔ Utiliser les différentes températures mesurées pour déterminer la résistance thermique d'un des murs de la salle.

Fiche méthode 14, p. 292.

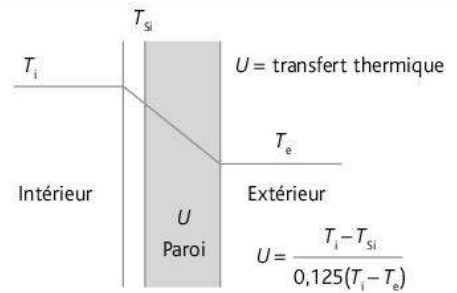


Mesure du facteur U
(3 min 31)



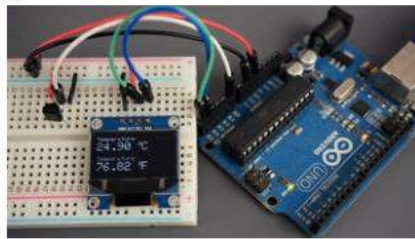
DOC. 1 Méthode de mesure d'une résistance thermique.

Pour déterminer la résistance thermique d'une paroi il faut mesurer simultanément la température extérieure (T_e), la température intérieure (T_i) et la température à la surface de la paroi du côté intérieur (T_{si}). Si les conditions de la mesure sont bien maîtrisées, ces 3 températures par le biais d'une formule empirique donne la résistance thermique de la paroi considérée, c'est le facteur $\frac{1}{U}$.



DOC. 2 La sonde de température analogique LM35.

La gamme LM35 de capteurs de température analogiques fournit une tension de sortie de 10 mV/°C, directement proportionnelle à la température du périphérique.



Indice de température : - 40 à + 110 °C
Précision : ±0,75 °C (typique)
Gain de la sonde (sortie) : 10 mV/°C
Tension d'alimentation : +4 à +30 Vcc

© RandomNerdTutorials.com

Vers le grand oral

L'Agence de L'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie précise que le chauffage représente deux tiers de la consommation d'énergie d'un logement. L'isolation est une priorité pour économiser de l'énergie. Pour l'oral, renseignez-vous sur les techniques de construction et comparez les valeurs de résistances thermiques que vous trouverez aux normes actuelles.

S'appropriier le projet avant de commencer

- 1 Comment calculer la résistance thermique d'un mur ?
- 2 Quel est le principe de fonctionnement d'une sonde de température ?
- 3 Comment mesurer la température à partir de l'Arduino ?

Se préparer et réviser les acquis de 1^{re}

Pour l'enseignant

Diaporama des questions flash

6

Questions flash



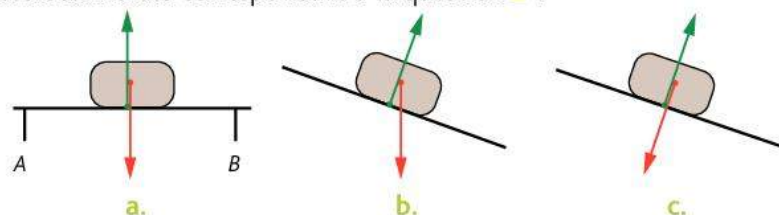
CORRIGÉS p. 300-304

Pour chaque question, trouver la ou les bonnes réponses.

- 1 Si un solide en translation rectiligne est soumis à une résultante des forces extérieures nulle alors ...
- sa vitesse diminue.
 - sa vitesse augmente.
 - sa vitesse est constante.

- 2 Lorsqu'il n'y a aucun frottement, les deux forces subit par un solide en contact sur un support sont ...
- son poids et sa masse.
 - son poids et la réaction du support.
 - son poids et l'attraction de la pesanteur.

- 3 Si le support est incliné, quelle est alors la représentation possible de ces deux forces correspondant à la question 2 ?



- 4 L'accélération moyenne d'un système pendant une durée Δt est définie comme ...
- le rapport de la vitesse moyenne sur la durée Δt .
 - le rapport de la variation de vitesse sur la durée Δt .
 - le rapport de la distance parcourue sur la durée Δt .

- 5 En reprenant la situation a. de la question 3, les travaux des 2 forces ...
- se calculent grâce au produit scalaire $\vec{F} \cdot \vec{AB}$.
 - sont nuls, car les 2 vecteurs forces sont perpendiculaires au déplacement \vec{AB} .
 - sont des travaux moteurs.

Capacités exigibles

- Déterminer, à partir de l'accélération, la résultante des forces appliquées. **Activité 1**
- Exploiter la relation entre la variation d'énergie cinétique d'un solide en translation et le travail des forces extérieures appliquées. **Activité 2**
- Exploiter des résultats expérimentaux d'une chute libre. **Activité 3**
- Exploiter des mesures pour modéliser une force de résistance aérodynamique lors d'un déplacement d'un solide à vitesse constante. **Activité 4**

Forces et mouvement



Appontage d'un rafale commenté (3 min 11)



Lorsqu'un avion de chasse apponte sur le porte-avions français « Charles-de-Gaulle », sa vitesse passe brusquement de 270 km/h à 0 km/h.

Quelle est la résultante des forces qu'il subit alors ?

Liens avec les maths

- Lecture et exploitation de courbes.
- Produit scalaire.
- Somme vectorielle.

Activité **3**

Activité **2**
Exercices **5 12 15**

Exercices **3 6 7 8 10**

Activités

- 1** Accélération d'un corps et résultante des forces : toujours liées ?
- 2** Qu'est-ce qui s'oppose au chariot ?
- 3** La chute libre : toujours valable ?
- 4** Des billes dans un liquide visqueux !

documentaire

documentaire

expérimentale

expérimentale

Accélération d'un corps et résultante des forces : toujours liées ?

Capacité Déterminer, à partir de l'accélération, la résultante des forces appliquées à un système dont le mouvement est rectiligne.

Objectif Analyser le mouvement d'un objet pour en déduire la résultante des forces qui s'applique sur lui.

Le principe fondamental de la dynamique est aussi appelé 2^e loi de Newton. En effet, c'est le savant anglais Isaac Newton qui énonça ce principe en 1687. Ce principe permet de faire le lien entre l'accélération d'un système et la résultante des forces lui sont appliquées. À partir de 3 situations a priori très différentes, voyons comment il est possible de caractériser la résultante des forces qui s'appliquent sur chacun des systèmes étudiés. On supposera à chaque fois que l'étude se fait dans le référentiel terrestre, supposé galiléen, et que les mouvements sont rectilignes.

DOC. 1 Attention au radar.



Voiture de masse $m = 800$ kg qui freine brutalement en s'approchant d'un radar. Sa vitesse passe alors de 100 km/h à 80 km/h en moins de 2,0 s.

DOC. 2 Service gagnant.

Balle de tennis de masse $m = 57$ g propulsée à la vitesse de 190 km/h en $2/100^{\text{e}}$ de seconde.



DOC. 3 Décollage de la navette Discovery.

Navette spatiale et ses boosters de masse totale $m = 2 \times 10^3$ tonnes au décollage. Vitesse de 1 600 km/h en moins d'une minute.



DOC. 4 Principe fondamental de la dynamique (PFD).

Dans un référentiel galiléen : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \cdot \vec{a}$
où m est la masse du corps (en kg), \vec{a} le vecteur accélération et $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$ le vecteur résultante des forces extérieures (somme vectorielle des forces).

Remarque

Accélération moyenne a d'un système en translation (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$) : $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ avec Δv variation de vitesse, Δt durée de parcours.

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **S'approprier** À votre avis, sans faire de calcul, quel système a l'accélération la plus grande ?

2 » **Analyser • Réaliser** Pour chacune des situations des doc. 1, 2 et 3, donner la masse m (kg), la variation de vitesse Δv ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) et la durée Δt (s).

3 » **Analyser • Réaliser** En déduire l'accélération de chaque système, puis à l'aide du PFD (doc. 4), en déduire la valeur de la résultante des forces pour chacune des 3 situations.

4 » **Analyser • Réaliser** En déduire les caractéristiques du vecteur résultante des forces.

Conclusion À l'oral

Expliquer, en une ou deux phrases, comment on peut déduire de l'analyse d'un mouvement, les caractéristiques du vecteur résultante des forces.

Qu'est-ce qui s'oppose au chariot ?

Capacité

Exploiter la relation entre la variation d'énergie cinétique d'un solide en translation et le travail des forces extérieures appliquées pour déterminer une force de frottement.

Objectif

Déterminer les caractéristiques de la force de frottements solide qui s'exerce sur un chariot.

Dans le jeu de force « le canon », le joueur doit lancer le plus fort possible un chariot mobile sur des rails horizontaux et essayer de le faire monter le plus haut possible sur la partie ascendante. Le fabricant du système souhaite déterminer la valeur de la force de frottements solide qui est en œuvre sur les rails de son jeu.



© Ludens

DOC. 1 Modélisation de la situation.

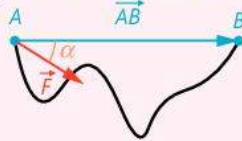
On modélise le chariot mobile par un point matériel M de masse $m = 5,0$ kg. La partie horizontale du rail AB mesure $5,0$ m, le rayon de courbure du rail est de $r = 1,0$ m. Aux points A et B sont disposés des capteurs de vitesse.



- On suppose que les frottements solides sont de même nature tout au long du rail. Les frottements de l'air seront négligés.
- Le chariot est propulsé à la main du point de départ jusqu'au point A où il est abandonné avec une vitesse $v_A = 25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

DOC. 2 Travail d'une force sur un déplacement AB .

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos \alpha$$



DOC. 3 Théorème de l'énergie cinétique.

La variation d'énergie cinétique d'un solide en translation est égale à la somme des travaux des forces appliquées.

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **S'approprier** Comment va évoluer la vitesse entre les points A et B ?

2 » **Analyser** • **Réaliser** Quelles sont les 3 forces qui s'exercent sur le chariot lorsqu'il est sur la partie horizontale AB ?

3 » **Analyser** • **Réaliser** Exprimer le travail de chacune des forces sur le déplacement AB . Y a-t-il des travaux qui peuvent être déterminés sans calcul ? Si oui, lesquels ?

4 » **Réaliser** Le capteur de vitesse placé au point B affiche $v_B = 20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Exprimer et calculer la variation d'énergie cinétique ΔE_c entre A et B .

Aide

Exprimer les vitesses en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$!

5 » **Analyser** • **Réaliser** Utiliser le doc. 3 pour déterminer la valeur de la force de frottements solide f qui s'exerce sur le chariot entre A et B .

Conclusion

Quelles sont les caractéristiques (sens, direction et norme) de la force de frottement solide ?

La chute libre : toujours valable ?



Capacités

- Exploiter numériquement des résultats expérimentaux pour valider le modèle de la chute libre.
- Confronter un modèle à des résultats expérimentaux.

Objectif du TP

Déterminer les conditions pour lesquelles le modèle de la chute libre est valable à la surface de la Terre.

La tour inversée du jardin de Quinta da Regaleira est un lieu emblématique du Portugal. En voyage scolaire avec votre professeur de physique, vous en profitez pour réaliser une expérience afin de vérifier le modèle de la chute libre en lâchant une pierre depuis les escaliers en spirale.



DOC. 1 Modèle de la chute libre.

Le modèle de la chute libre sans vitesse initiale correspond au mouvement d'un objet uniquement soumis à son propre poids, les autres forces (poussée d'Archimède, résistance de l'air...) étant négligeables.

On peut alors montrer que la durée de chute t_{mod} d'un objet est proportionnelle à la racine carrée de l'altitude z_0 à laquelle il a été lancé, soit

$$t_{\text{mod}} = \sqrt{\frac{2 \times z_0}{g}} \quad \text{avec } g \text{ l'intensité de la pesanteur } (g \approx 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}).$$

MATÉRIEL

- Un ordinateur muni d'un tableur ou une calculatrice graphique.

DOC. 2 Conditions expérimentales.

Un de vos camarades s'est placé à une certaine hauteur z_0 du bas de la tour. Vous vous êtes positionné au pied de la tour. Après un décompte commun, votre camarade a lâché la pierre et vous avez déclenché le chronomètre. Au moment de l'impact dans l'eau, vous avez arrêté le chronomètre. L'expérience est reconduite à plusieurs hauteurs z_0 différentes.

DOC. 3 Mesures réalisées.

Hauteur z_0 (m)	Durée t_{exp} (s)
3,0	0,78
5,0	1,02
8,0	1,29
11,0	1,51
14,0	1,72
17,0	1,88
20,0	2,10
23,0	2,30
27,0	2,55

ÉTAPE 1 Réflexions préliminaires sur le choix du modèle

1. a. Quelle est, a priori, la trajectoire du système ?
b. Quelles sont toutes les forces susceptibles de s'exercer sur le système lors de la chute ?
2. Pour simplifier, on considère que la pierre suit modèle de la chute libre (doc. 1).
Quelles informations sont ignorées en utilisant ce modèle ?

ÉTAPE 2 Exploitation des résultats expérimentaux

3. Déterminer, à partir des hauteurs z_0 , les durées de chute t_{mod} correspondant au modèle de la chute libre (doc. 1).
4. À l'aide d'un tableur ou de votre calculatrice, tracer, sur un même graphique, les représentations graphiques $t_{\text{exp}} = f(z_0)$ et $t_{\text{mod}} = f(z_0)$.
5. Le modèle de la chute libre décrit-il correctement le mouvement de chute de la pierre quelque soit l'altitude du lâcher ?



Fiche méthode 9
Utiliser un tableur,
p. 286.

Conclusion du TP

Quelles sont les limites du modèle de la chute libre ? Quelles sont les hypothèses du modèle qui ne semblent plus convenir ?

Des billes dans un liquide visqueux ! 2 h

Capacités

- Formuler une hypothèse. Proposer et réaliser un protocole expérimental.
- Exploiter des mesures pour modéliser une force de résistance aérodynamique lors d'un déplacement d'un solide à vitesse constante.

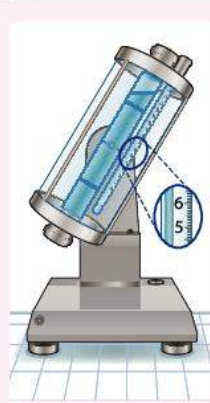
Objectif du TP

Déterminer le modèle des forces de frottements fluide utilisé dans un viscosimètre, appareil de mesure de la viscosité d'une huile.

Une bille en train de couler dans un liquide visqueux atteint rapidement une vitesse limite. Selon la taille de la bille et la viscosité du liquide dans lequel il est plongé, les frottements ne sont pas les mêmes.

DOC. 1 Principe du viscosimètre à chute de bille.

- La **viscosité** η d'un fluide (exprimée en Pa·s) se définit comme l'ensemble des phénomènes qui résiste à l'écoulement de ce fluide. Elle se mesure à l'aide d'un viscosimètre.
- Le **viscosimètre à chute de bille** comporte un long tube muni de deux repères distants d'une longueur L . On y introduit le liquide à étudier et une bille qui va chuter à travers le liquide. La vitesse constante de chute v_{limite} se détermine par le rapport de la distance L sur le temps de chute entre les deux repères.



MATÉRIEL

- Une grande éprouvette graduée de 1,0 L (6,5 cm de diamètre et 45 cm de hauteur).
- Un ruban-mètre gradué.
- Deux liquides visqueux incolores différents :
 - huile de ricin : $\rho = 0,92 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et $\eta = 0,97 \text{ Pa} \cdot \text{s}$.
 - glycérol : $\rho = 1,26 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et $\eta = 1,4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$.
- Deux billes différentes :
 - bille n° 1 en aluminium de 0,30 g et de rayon $R = 3,0 \text{ mm}$.
 - bille n° 2 en fer de 0,90 g et de rayon $R = 3,0 \text{ cm}$.

Aide

Ne pas oublier la poussée d'Archimède, force de sens opposé au poids.

DOC. 2 Modèles des forces de frottements fluide.

Avec une bille de rayon R et de masse volumique ρ_{bille} chutant dans un liquide de masse volumique ρ_{liquide} et de viscosité η .

Modèle n°1 : cas des chutes avec une vitesse relativement faible.

Modèle n°2 : cas des chutes avec des vitesses importantes.

	Expression de la force de frottement	Expression de la vitesse limite
Modèle n°1	$f = k \cdot v$ avec $k = 6 \times \pi \cdot \eta \cdot R$	$v_{\text{limite}} = \frac{2R^2 \cdot \rho_{\text{bille}} \cdot g}{9\eta} \left(1 - \frac{\rho_{\text{liquide}}}{\rho_{\text{bille}}} \right)$
Modèle n°2	$f = k' \cdot v^2$ avec $k' = \frac{1}{2} \rho_{\text{liquide}} \cdot S \cdot C_x$ S est la surface projetée de la bille ($S = \pi \cdot R^2$) et $C_x = 0,45$: coefficient de traînée de la bille.	$v_{\text{limite}} = \sqrt{\frac{8(\rho_{\text{bille}} - \rho_{\text{liquide}}) \cdot R \cdot g}{3C_x \cdot \rho_{\text{liquide}}}}$

ÉTAPE 1 Étude préliminaire

On étudie la chute d'une bille lâchée sans vitesse initiale dans un liquide visqueux.

1. Quelles sont les 3 forces mises en jeu lors de la chute ? Les schématiser sans souci d'échelle.
2. Que peut-on dire de ces 3 forces lorsque la vitesse de chute se stabilise (à la vitesse limite) ?

ÉTAPE 2 Mise en place du protocole

3. Proposer un protocole expérimental qui permette de vérifier lequel des modèles de frottements fluide du doc. 2 correspond à celui mis en jeu lors de la chute dans le viscosimètre.



Appeler l'enseignant pour vérifier la réponse.

4. Mettre en place le protocole et réaliser plusieurs mesures pour répondre à la problématique.

Conclusion du TP

Quel est le modèle des forces de frottements fluide utilisé dans un viscosimètre ?

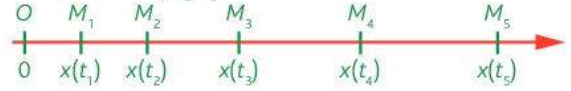
A Principe fondamental de la dynamique

COURS

1 Vitesse dans un mouvement rectiligne

- La **vitesse** (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) d'un point M à un instant t , noté $v(t)$, correspond à la vitesse moyenne de ce point sur un intervalle de temps infiniment court.
- Dans le cas d'un mouvement rectiligne le long d'un axe (Ox) , la vitesse $v(t)$ est définie comme la dérivée de la position $x(t)$ par rapport au temps : $v(t) = \frac{dx(t)}{dt}$.

Exemple : Positions M_1, M_2, M_3 du point M aux différents instants t_1, t_2, t_3, \dots



Remarque

La vitesse moyenne v_{moy} est le rapport de la distance parcourue D sur la durée de parcours Δt : $v_{\text{moy}} = \frac{D}{\Delta t} = \frac{|x(t_2) - x(t_1)|}{t_2 - t_1}$.

2 Accélération dans un mouvement rectiligne

- L'**accélération** (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) d'un point M à un instant t , noté $a(t)$, correspond à l'accélération moyenne de ce point sur un intervalle de temps infiniment court.
- Dans le cas d'un mouvement rectiligne, l'accélération $a(t)$ est définie comme la dérivée de la vitesse $v(t)$ par rapport au temps :

$$a(t) = \frac{dv(t)}{dt}$$

Remarque

Dans un mouvement de translation, l'accélération moyenne a_{moy} est égale au rapport de la variation de vitesse Δv sur la durée de parcours Δt :

$$a_{\text{moy}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{|v(t_2) - v(t_1)|}{t_2 - t_1}$$

Exemple :

- La position du point M est définie par la fonction $x(t) = 4,9 \times t^2$.
 Au point M_1 à $t = 1,0 \text{ s}$: $x(1,0) = 4,9 \times 1,0^2 = 4,9 \text{ m}$.
 Au point M_2 à $t = 2,0 \text{ s}$: $x(2,0) = 4,9 \times 2,0^2 = 19,6 \text{ m}$.
 Au point M_3 : $x(3,0) = 44,1 \text{ m}$.
- La vitesse du point M à chaque instant se calcule en dérivant $x(t)$: $v(t) = \frac{dx(t)}{dt} = 4,9 \times 2 \times t = 9,8 \times t$.
 Au point M_1 : $v(1,0) = 9,8 \times 1,0 = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
 Au point M_2 : $v(2,0) = 19,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
 Au point M_3 : $v(3,0) = 29,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- L'accélération du point M à chaque instant se calcule en dérivant $v(t)$: $a(t) = \frac{dv}{dt} = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.
 Ainsi $a(1,0) = a(2,0) = a(3,0) = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. L'accélération est ici constante (elle ne dépend pas du temps t).

INFOS FLASH

Les pilotes de chasse ou les astronautes sont entraînés à subir des accélérations jusqu'à 10 fois celle de la pesanteur (jusqu'à « 10 G » soit presque $100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$).



3 Résultantes des forces appliquées

- Chaque **action mécanique** s'exerçant sur un corps peut être modélisée **par une force**. Chacune de ces forces peut être représentée par un vecteur force.
- La somme vectorielle de toutes les forces extérieures appliquées au système est appelée **résultante des forces** et se note généralement $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$.

Exemple : Soit une skieuse tractée par une perche sur une piste enneigée horizontale.

L'ensemble des actions mécaniques s'exerçant sur la skieuse peut être modélisé par 4 forces :

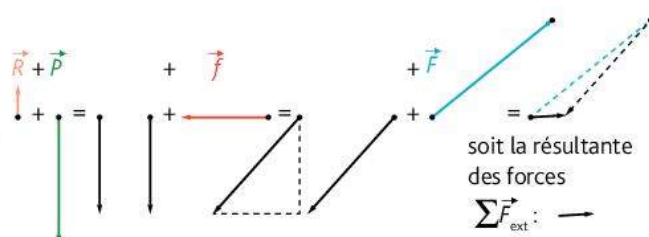
- Le **pooids** \vec{P} de la skieuse de valeur $P = 800 \text{ N}$.
- La **réaction** \vec{R} du support (de la piste) de valeur $R = 200 \text{ N}$.
- Les **différents frottements** \vec{f} (de la piste et de l'air) de valeur $f = 550 \text{ N}$.
- La **force de traction** \vec{F} de la perche de valeur $F = 1\,000 \text{ N}$.

Liens avec les maths

Un vecteur est caractérisé par une direction, un sens et une norme (valeur).



→ La résultante des forces peut se déterminer graphiquement (échelle : 1 cm → 500 N).



4 Principe fondamental de la dynamique

- Dans un référentiel galiléen, l'accélération subie par un corps de masse m constante est liée à la résultante des forces extérieures qu'il subit par la relation : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \cdot \vec{a}$ où m est la masse du corps (en kg), \vec{a} le vecteur accélération et $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$ le vecteur résultante des forces extérieures.
- Les vecteurs **accélération** et **résultante des forces extérieures** sont donc de même sens et de même direction.

Exemple :

- La skieuse tractée par la perche, dont la résultante des forces est parallèle à la piste et dans le sens du mouvement, va donc avoir un mouvement accéléré de la gauche vers la droite.
- Si la résultante des forces avait été de sens inverse, la skieuse aurait eu un mouvement ralenti.

B Forces de frottements

COURS

1 Frottements fluides

- Lorsqu'un corps se déplace dans un fluide (liquide ou gaz), une force de résistance aérodynamique s'oppose au déplacement.
- Lorsque la **vitesse du corps est relativement faible**, cette force fluide est proportionnelle à la vitesse de déplacement : $f_{\text{fluide}} = k \cdot v$ avec k un coefficient qui dépend de la géométrie du corps et de la nature du fluide.
- Lorsque la **vitesse du corps est élevée**, cette force fluide est proportionnelle au carré de la vitesse de déplacement : $f_{\text{fluide}} = k' \cdot v^2$ avec k' un coefficient qui dépend de la géométrie du corps et de la nature du fluide.

INFOS FLASH

La recherche de nouvelles postures permet de limiter la résistance aérodynamique de l'air.



Francesco Moser, 1984



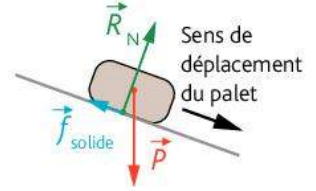
Graeme Obree, 1993

Évolution des positions pour le record de l'heure cycliste.

2 Frottements solides

- Lorsqu'un corps est en mouvement sur un support solide, une **force de frottement solide**, s'exerçant au niveau de la surface de contact, **s'oppose au déplacement**. Cette force dépend de la masse du corps, de la nature du corps et du support (état de surface...), mais est indépendante de la vitesse du corps.

Exemple : Palet qui glisse sur un support incliné. Le plan incliné exerce sur le palet une force \vec{R}_N appelée réaction normale ainsi qu'une force de frottements solide \vec{f}_{solide} parallèle au plan et de sens opposé au déplacement du palet.



C Transfert d'énergie par travail mécanique

COURS

- Lorsqu'une force \vec{F} agit sur un système, ce système peut voir sa vitesse varier et par conséquent son énergie cinétique E_c augmenter ou diminuer. L'énergie échangée entre ce système et celui à l'origine de la force s'appelle travail mécanique et se note $W(\vec{F})$.
- Lorsqu'un corps en translation se déplace d'un point A vers un point B, la **variation de son énergie cinétique** est égale à la **somme des travaux de toutes les forces extérieures** agissant sur ce corps :

$$E_{c_B} - E_{c_A} = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_A^2 = \sum W_{AB}(\vec{F})$$

avec E_c en J, v en $m \cdot s^{-1}$, m en kg,
 $\sum W_{AB}(\vec{F})$ en J.

Rappel

Le travail d'une force constante \vec{F} agissant sur un corps se déplaçant du point A au point B s'écrit :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos \alpha,$$

avec F l'intensité de la force (en N), AB la longueur AB (en m), α l'angle orienté entre \vec{F} et \vec{AB} (en radian ou en degré).

Exemple : Lorsque deux corps frottent l'un sur l'autre, on observe un dégagement de chaleur qui correspond au travail des forces de frottements. C'est ce qui se passe par exemple sur les freins à disques où la plaquette de frein frotte sur le disque en mouvement.

Astuce

Si la direction du vecteur force est perpendiculaire au vecteur déplacement, alors le travail de cette force est nul.

INFOS FLASH

Des trous sont souvent percés dans le disque en rotation afin de permettre l'évacuation de la chaleur produite.



Lien vidéo



Test des disques de Bugatti (4 min 33)



Liens avec les maths

$\vec{F} \cdot \vec{AB}$ est le produit scalaire du vecteur \vec{F} par le vecteur \vec{AB} .

L'essentiel

A. Principe fondamental de la dynamique

Définir un système.
Choisir un référentiel

Faire un bilan des forces

En déduire la résultante des forces $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$

Appliquer le principe fondamental de la dynamique
 $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \cdot \vec{a}$

Accélération à l'instant t :
 $a(t) = \frac{dv}{dt}$

Vecteur accélération :
 $\vec{a} = \frac{1}{m} \cdot \sum \vec{F}_{\text{ext}}$

B. Forces de frottements

Si le corps est en déplacement dans un fluide

Frottements fluides

De quoi dépendent-ils ?

De la géométrie du corps

Du fluide

De la vitesse du corps

Si le corps est en contact avec un support solide

Frottements solides

De quoi dépendent-ils ?

De l'état de surface de contact entre le corps et le support

De la masse du corps

PAS de la vitesse du corps

C. Transfert d'énergie par travail mécanique

Translation d'un système d'un point A à un point B

Faire un bilan des forces

Déterminer le travail mécanique de chacune des forces :
 $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos \alpha$

Calculer la variation d'énergie cinétique :
 $\frac{1}{2} m \cdot v_B^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_A^2$

En déduire la somme des travaux de chacune des forces
 $\sum W_{AB}(\vec{F})$

Questions flash  Pour chaque question, trouver la ou les bonne(s) réponse(s).



CORRIGÉS p. 300-304

1 L'accélération moyenne d'une voiture qui passe de 0 à 100 km/h en 2,5 s vaut ...

- a. $\approx 40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- b. $\approx 11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- c. $\approx 27,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

2 Le principe d'inertie appliqué à un objet qui n'est soumis qu'à son poids s'écrit ...

- a. $m \cdot \vec{a} = m \cdot \vec{g}$
- b. $m \cdot \vec{a} = -m \cdot \vec{g}$
- c. $m \cdot \vec{a} = \vec{0}$

3 Un objet en chute libre, qui n'est soumis qu'à son propre poids, possède une accélération ...

- a. constante.
- b. qui augmente.
- c. qui diminue.

4 Si les frottements fluides sur un corps sont proportionnels à la vitesse alors ...

- a. ces frottements diminuent si la vitesse diminue.
- b. ces frottements doublent si on double la vitesse.
- c. ces frottements quadruplent si on double la vitesse.

5 Un skieur se laisse glisser sur une piste horizontale, alors ...

- a. le travail du poids du skieur est nul.
- b. le travail des frottements est nul.
- c. le travail de la réaction normale du support est nulle.

6 Une voiture de 500 kg, sur une route horizontale à 20 m/s, freine brutalement jusqu'à l'arrêt complet, alors ...

- a. sa variation d'énergie cinétique vaut -100 kJ .
- b. l'énergie cinétique perdue est convertie en énergie thermique.
- c. la variation d'énergie cinétique est égale au travail des forces de frottements.

Vrai ou Faux ? Pour chaque proposition, déterminer si elle est vraie ou fausse.

1 $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ est environ égal à $13,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2 À l'arrêt sur support horizontal, le poids \vec{P} d'un objet est compensé par la réaction normale du support \vec{R}_N .

3 Si un corps a un mouvement rectiligne uniforme, alors les forces qui s'exercent sur lui se compensent.

4 Le travail des forces de frottements est toujours nul.

5 Si un corps a un mouvement rectiligne uniforme, la variation d'énergie cinétique de ce corps est nulle.

A Principe fondamental de la dynamique

1 Vitesse et accélération

Recopier et compléter le tableau :

Instant t (en s)	0,0	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
Vitesse (en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	0,0	10,0			55,0	75
Vitesse (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		2,78	5,55	9,72		
Accélération (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)			8,34			

2 Bilan de forces

Nommer et représenter, sans soucis d'échelle, les forces s'exerçant sur les systèmes suivants. Utiliser le point blanc pour origine des vecteurs force.

Un parachutiste



Une voiture à l'arrêt



3 Application du PFD Maths

Un skieur de masse totale 90 kg descend une piste inclinée de 30° par rapport à l'horizontale. Les frottements seront négligés.

Donnée

$$g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}.$$

1. Quelles sont les deux forces qui s'exercent sur le skieur ?
2. Calculer le poids du skieur. Représenter cette force avec l'échelle 1 cm pour 400 N.
3. Pourquoi le vecteur accélération du skieur doit nécessairement être parallèle à la piste ?
4. En déduire la représentation de la deuxième force sur le schéma précédent.

B Forces de frottements

4 Frottements fluide ou solide ?

Dans chacune des situations suivantes, caractériser les forces de frottements en précisant leur nature (fluide ou solide) et la conséquence sur le système.

a. Une torpille sous-marine



b. Un planneur



c. Une échelle posée contre un mur



d. Une voiture roulant sur une route



C Transfert d'énergie par travail mécanique

5 Travaux de forces Maths

Un cheval de halage tire un bateau sur le bord d'un canal. L'angle entre le câble de traction et la direction du canal vaut environ 20° . Le cheval tire avec une force de 1 kN.

1. Donner l'expression, puis calculer le travail de cette force de traction sur le bateau si celui-ci parcourt une distance de 100 m.
2. La vitesse du bateau étant constante, que vaut la variation d'énergie cinétique du bateau sur la distance de 100 m ?
3. En déduire le travail des forces résistantes (forces de frottements fluide).



Exercice



Résolu

6 Courses de chars à voile Maths

Un char à voile de masse $m = 250 \text{ kg}$ se déplace en ligne droite sur une plage. On a modélisé les actions s'exerçant sur le char par les 4 forces représentées ci-contre avec l'échelle $1 \text{ cm} \rightarrow 10^3 \text{ N}$.

- Nommer chacune des 4 forces et déterminer leur intensité (en N).
- Déterminer la résultante des forces.
- En déduire les caractéristiques de l'accélération du char et la nature du mouvement.



RÉSOLUTION DÉTAILLÉE

1 Le char est soumis à son poids \vec{P} , la réaction normale du sol \vec{R}_N , la force de propulsion due au vent \vec{F}_{Vent} et aux frottements du sol \vec{f}_{Sol} . On mesure la longueur de chacun des vecteurs pour en déduire, grâce à l'échelle, l'intensité de chacune des forces.

Le vecteur \vec{P} mesure 2,5 cm donc $P = 2,5 \times 10^3 \text{ N}$.
De même $\vec{R}_N = 2,5 \times 10^3 \text{ N}$; $\vec{F}_{\text{Vent}} = 2,0 \times 10^3 \text{ N}$; $\vec{f}_{\text{Sol}} = 1,0 \times 10^3 \text{ N}$.

2 $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{P} + \vec{R}_N + \vec{F}_{\text{Vent}} + \vec{f}_{\text{Sol}}$

Il y a deux forces dirigées verticalement et 2 forces dirigées horizontalement. Puisque les vecteurs \vec{P} et \vec{R}_N , ont la même norme : $\vec{P} + \vec{R}_N = \vec{0}$. Ainsi $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{F}_{\text{Vent}} + \vec{f}_{\text{Sol}}$.



La longueur du vecteur $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$ est de 1,0 cm, la résultante des forces vaut donc $1,0 \times 10^3 \text{ N}$.

3 En appliquant le PFD, on a : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \cdot \vec{a}$.

Donc le vecteur accélération \vec{a} est de même sens et de même direction que le vecteur $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$ et sa norme

vaut : $a = \|\vec{a}\| = \frac{\sum \vec{F}_{\text{ext}}}{m} = \frac{1,0 \times 10^3}{250} = 4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Le mouvement du char est donc rectiligne accéléré.

Liens avec les maths

La norme d'un vecteur \vec{F} correspond à la taille de ce vecteur et se note $\|\vec{F}\|$ ou simplement F . En physique, cela correspond à l'intensité de la force, exprimée en N.

À vous de jouer

7 Course de traîneau Maths

Un traîneau de masse $m = 125 \text{ kg}$ est tiré en ligne droite par des chiens sur une piste enneigée. On a modélisé les actions s'exerçant sur le traîneau par les 4 forces représentées ci-contre avec l'échelle $1 \text{ cm} \rightarrow 500 \text{ N}$.

- Nommer chacune des 4 forces et déterminer leur intensité (en N).
- Déterminer la résultante des forces.
- En déduire les caractéristiques de l'accélération du traîneau et la nature du mouvement.



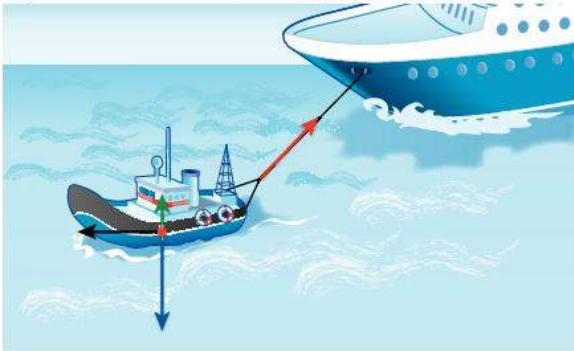
Exercices

Entraînement

8 Remorquage d'un bateau Maths

» Mobiliser ses connaissances • Analyser • Réaliser

Soit un remorqueur tirant un paquebot. Les différentes forces s'exerçant sur le remorqueur ont été représentées ci-dessous.



1. Nommer chacune des forces.
2. Déterminer graphiquement le vecteur résultante des forces.
3. En déduire la nature du mouvement du remorqueur.

9 Principe fondamental de la dynamique sur la Lune

» Analyser • Réaliser

L'expérience de lâcher d'un objet sur la Lune a été réalisée de nombreuses fois lors des missions Apollo. En l'absence d'atmosphère, l'objet lâché n'est soumis qu'à son propre poids.

Donnée

Intensité de la pesanteur sur la Lune :
 $g = 1,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.



1. Appliquer le principe fondamental de la dynamique à un marteau de masse $m = 1,0 \text{ kg}$ lâché depuis une hauteur de $1,0 \text{ m}$ sur le sol lunaire.
2. En déduire les caractéristiques de l'accélération de ce marteau lors de sa chute.

3. Reprendre les questions 1 et 2 dans le cas du lâcher d'une plume d'oiseau de masse $m = 10 \text{ g}$.
4. (À l'oral) Enregistrer à l'oral une conclusion d'une minute environ sur le mouvement de chute libre d'un objet sur la Lune.

Lien vidéo

Marteau et plume en chute libre sur la Lune
(0 min 24)

II ▶ ⏸ ⏪ ⏩ 🔊

10 Déménagement d'une machine à laver Maths

» Analyser • Réaliser

Un homme a attaché une sangle sur sa machine à laver de 100 kg . Il la traîne sur un sol en carrelage sur quelques mètres. On donne les intensités des 4 forces qui s'exercent sur la machine :

- tension de la sangle : $T = 0,49 \times 10^3 \text{ N}$;
- poids de la machine à laver : $P = 1,0 \times 10^3 \text{ N}$;
- réaction normale du support : $R_N = 0,80 \times 10^3 \text{ N}$;
- frottements solide du sol : $f = 0,45 \times 10^3 \text{ N}$.

1. Nommer et représenter les forces qui s'exercent sur la machine avec une échelle $1 \text{ cm} \rightarrow 200 \text{ N}$.



2. Déterminer graphiquement les caractéristiques du vecteur résultante des forces.
3. Que peut-on alors en déduire sur le mouvement de la machine à laver ?
4. Quel est l'intérêt de disposer un morceau de carton sous la machine à laver ?

11 Détermination d'unités

» Analyser • Réaliser

1. D'après le principe fondamental de la dynamique, montrer que le newton, l'unité usuelle d'une force, correspond à des $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.
2. Dans l'expression $f_{\text{fluide}} = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot C_x \cdot v^2$, quelles sont les unités des termes ρ , S et v ?
3. En déduire que le coefficient C_x dans l'expression de la force de frottement fluide n'a pas d'unité.



12 Utilisation d'un plan incliné Maths

» Analyser • Réaliser

Samy souhaite soulever une caisse de masse $m = 50 \text{ kg}$ depuis le sol jusqu'à une étagère située à une hauteur $h = 1,0 \text{ m}$.

La variation d'énergie potentielle de pesanteur de la caisse s'écrit $\Delta E_{pp} = m \cdot g \cdot h$, avec $g \approx 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

- Calculer la variation d'énergie potentielle de pesanteur de la caisse. Qui apporte cette énergie ?
- Samy a deux solutions pour amener sa caisse sur l'étagère.

Solution n°1. Il porte la caisse verticalement du sol jusqu'à l'étagère avec une force \vec{F}_1 verticale, vers le haut, de valeur environ 500 N.

Solution n°2. Il utilise un plan incliné de 3 m sur lequel il va pousser la caisse depuis le sol jusqu'à l'étagère avec une force \vec{F}_2 parallèle au plan incliné. Les frottements solide sur le plan incliné sont supposés constants et de valeur $f = 50 \text{ N}$.

- En utilisant la réponse à la question 1, montrer que le travail de la force F_1 vaut 500 J.
- Que vaut le travail de la force de frottement solide ?
- Montrer alors que le travail de la force de poussée F_2 vaut 650 J.
- En déduire la valeur de la force de poussée F_2 . Conclure quant à la meilleure solution.

13 Accélération d'un skeleton

» S'approprier • Analyser • Réaliser

Le skeleton est une discipline sportive des jeux olympiques où la poussée exercée sur la luge par l'athlète lors du départ donne un avantage primordial sur le reste de la course.



On considèrera l'ensemble {athlète+skeleton} comme un système ponctuel de masse $m = 80 \text{ kg}$.

On suppose que la poussée de départ est parallèle à la piste et équivalente à une force constante de valeur 100 N. On négligera tous les frottements au départ. Le système est initialement à l'arrêt et la piste est supposée horizontale au départ.

- Faire un bilan des forces s'exerçant sur le système. Que vaut la résultante de forces ?
- En déduire l'accélération du système dans la phase de départ.
- La poussée est exercée sur les 50 premiers mètres. Que valent les travaux de chacune des forces sur cette distance ?
- Rappeler la relation entre la variation d'énergie cinétique et la somme des travaux des forces qui s'exercent sur un système.
- Utiliser cette relation pour en déduire la vitesse atteinte (en km/h) par le système à la fin de la phase de poussée.

14 Force de frottement statique

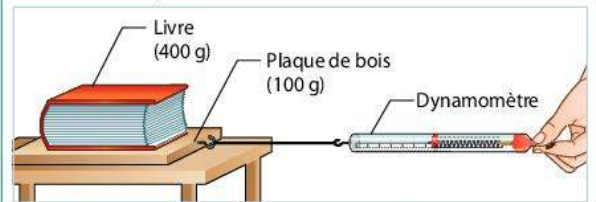
» S'approprier • Analyser • Réaliser Mesure et incertitudes

Une plaque en bois rectangulaire de 100 g est posée sur une table en bois également. On pose 1 gros livre de 400 g dessus. L'ensemble est immobile.

Donnée

Intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

- Quelles sont les forces qui s'exercent sur l'ensemble du système {plaque + livre} ? Les calculer.
- On tire parallèlement à la table, à l'aide d'un dynamomètre accroché à la plaque, jusqu'à ce que l'ensemble se mette en mouvement. Au moment où le système se met à bouger, on lit sur le dynamomètre : 2,0 N.



Quelles sont les forces supplémentaires qui s'exercent sur le système juste avant qu'il ne se mette en mouvement ? Les calculer.

- Les lois de Coulomb montrent que la force de frottement solide f_{sol} (dite statique, car il n'y a pas encore de mouvement) est proportionnelle à la réaction normale du support R_N . Le coefficient de proportionnalité est appelé coefficient de frottement statique et noté μ_0 .
Écrire la relation entre la force de frottement statique et la réaction normale et calculer ce coefficient μ_0 .

4. On ajoute successivement des livres (tous de même masse) sur la plaque et on recommence l'expérience. Voici les valeurs lues sur le dynamomètre pour chaque situation :

Nombre de livres	1	2	3	4	5
Valeur affichée sur dynamomètre (en N)	2,0	3,6	5,1	6,7	8,3

Déterminer, pour chaque cas, la valeur de la réaction du support R_N et la valeur de la force de frottement statique f_{sol} ainsi que le coefficient de frottement statique μ_0 .

5. En déduire la valeur moyenne du coefficient de frottement statique $\bar{\mu}_0$. On estime l'incertitude sur R_N et sur f_{sol} : $u(R_N) = u(f_{sol}) = 0,05$ N.

Déterminer l'incertitude sur μ_0 sachant que :

$$\frac{u(\mu_0)}{\mu_0} = \sqrt{\left(\frac{u(R_N)}{R_N}\right)^2 + \left(\frac{u(f_{sol})}{f_{sol}}\right)^2}$$

15 Convoyeur de minerais Maths

Application technologique

» S'approprier • Analyser • Réaliser



En Nouvelle-Calédonie, de très longs tapis roulants (appelés convoyeurs) acheminent le minerai de nickel depuis la mine jusqu'aux navires de transport.

Les 30 derniers mètres du tapis sont inclinés de 20° par rapport à l'horizontale. Le tapis est en ligne droite et avance à vitesse constante.

Donnée

Intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

1. Quelle est la nature du mouvement ? Faire le bilan des 3 forces s'exerçant sur un bloc de minerai de masse $m = 1$ tonne. Représenter sans soucis d'échelle ces forces sur un schéma.

2. L'énergie cinétique du système varie-t-elle ? En déduire la relation entre les travaux de chacune des forces sur les 30 derniers mètres parcourus (distance notée d).

3. Que vaut le travail de la réaction normale du tapis ?

4. Calculer le travail du poids du bloc de minerai.

16 Capteur d'accélération Application technologique

» S'approprier • Analyser • Réaliser

Les capteurs à MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) sont des systèmes miniatures qui permettent de mesurer des accélérations suivant un ou deux axes.

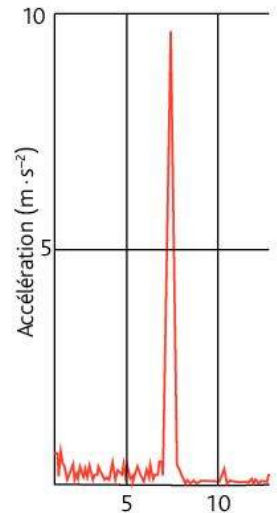
Ce sont ces capteurs qui sont installés dans les smartphones ou également dans les voitures pour déterminer l'accélération lors d'un choc. Selon l'accélération mesurée (ou plutôt le ralentissement), l'airbag sera déclenché.

Le capteur d'accélération peut être modélisé par une masse m susceptible de se déplacer sur un axe. Cette masse est reliée à un boîtier rigide via une sorte de ressort. Lorsque le boîtier rigide subit une accélération, la masse mobile s'écarte alors de sa position d'équilibre de quelques dixièmes de micromètre, modifiant alors localement l'environnement électrique.

Lors d'un TP, des élèves enregistrent via l'application *Phyphox* l'accélération du smartphone lors d'une chute. Ils lâchent le smartphone d'une hauteur H au-dessus d'un coussin posé au sol.

Voici le résultat de leur expérience.

1. Que vaut l'accélération du smartphone pendant la chute ?



Parcours A

2. En utilisant le PFD et en faisant les hypothèses nécessaires, démontrer ce résultat.

Parcours B

2. a. Les frottements de l'air étant négligeables, quelle est la seule force qui s'exerce sur le smartphone durant sa chute ?

b. Quelle est l'expression de cette force, la masse du smartphone étant notée m ?

c. Appliquer le PFD au smartphone pour en déduire les caractéristiques (sens, direction, valeur) du vecteur accélération.

d. Montrer que la valeur de l'accélération trouvée correspond à celle mesurée lors de l'expérience.

17 Déplacement urbain d'un bus électrique



Dans le cadre d'un achat pour sa ville, le maire adjoint aux transports s'est vu proposer à l'essai un bus électrique. Une série de tests et de mesures sont alors effectués afin de rendre compte des conditions d'utilisation dans la ville concernée.

DOC. 1 Extrait de la documentation technique du bus.

Dimensions et poids

Longueurs (m)	12,0
Largeur (m)	2,55
Hauteur (m)	3,28
Poids Total Autorisé en Charge (kg)	19 000

Groupe moteur propulseur

Moteur électrique

Puissance de sortie, max (kW)	160
Couple, max (Nm)	400

Système de stockage d'énergie : Batterie lithium-ion haute capacité

Capacité (kWh)	4 x 19
Tension (V)	600

Transmission : Transmission automatisée Volvo 2-vitesses

Volvobuses.fr

» S'approprier • Analyser • Réaliser

1. Quelle est la vitesse maximale (en km/h) atteinte par le bus lors du suivi (doc. 2) ?

2. Sur quels intervalles de temps le mouvement est-il :

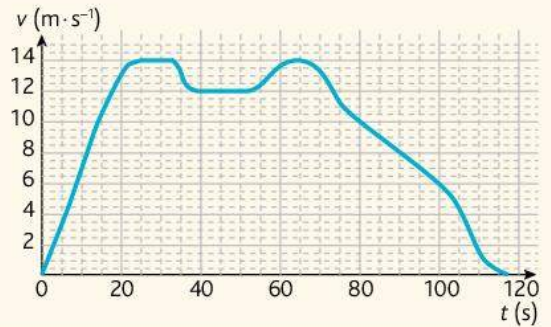
- accéléré ?
- uniforme ?

3. a. Quelle relation, parmi les 3 suivantes, permet de déterminer l'accélération moyenne a du bus entre $t_1 = 0$ s et $t_2 = 25$ s ?

$$\bullet a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \bullet a = \frac{\Delta t}{\Delta v} \quad \bullet a = \Delta v \cdot \Delta t$$

b. Déterminer cette accélération moyenne (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$) entre t_1 et t_2 .

DOC. 2 Suivi de la vitesse entre 2 arrêts.



DOC. 3 Différents frottements.

- Les frottements fluides se calculent à l'aide de la relation :

$$f_{\text{fluide}} = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot C_x \cdot v^2$$

avec ρ la masse volumique de l'air qui vaut $1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; S le maître-couple du bus qui vaut $8,36 \text{ m}^2$; C_x le coefficient de trainée qui vaut $0,5$; v la vitesse du bus (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

- Les frottements solides (au niveau du contact des pneus avec la chaussée) se calculent à l'aide de la relation :

$$f_{\text{fluide}} = \mu \cdot m \cdot g$$

avec μ le coefficient de frottement dynamique qui vaut $0,03$; m la masse totale du bus qui vaut environ 17 tonnes; g l'intensité de la pesanteur qui vaut $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

4. On cherche à évaluer la valeur maximale des différents frottements pendant le suivi.

a. Déterminer les valeurs maximales des 2 types de frottements (doc. 3).

b. Lequel des deux est négligeable ?

5. a. Représenter, sans soucis d'échelle, les 4 forces qui s'exercent sur le bus lorsque le mouvement est rectiligne uniforme à la vitesse maximale déterminée à la question 1.

b. En déduire que la force motrice vaut environ $5,0 \times 10^3$ N.

c. Déterminer enfin la puissance motrice sur cette phase de mouvement.

d. Comparer avec la valeur indiquée par le constructeur. Commenter.

Mini-projet d'application

Comment fabriquer une maquette du Nautille ?

DOC. 1 Caractéristiques techniques du Nautille.

Le Nautille est un sous-marin habité conçu au début des années 80 par l'Ifremer pour l'observation et l'intervention jusqu'à des fonds de 6 000 mètres.

L'ensemble des caractéristiques est accessible sur le site de l'IFREMER : https://www.ifremer.fr/grands_fonds/Les-moyens/Les-engins/Les-sous-marins/Le-Nautille



DOC. 2 Principe de flottabilité – Poids apparent.

- Immergé dans l'eau, certains corps **flottent**, d'autres **coulent** et certains **restent à l'équilibre** entre deux eaux. On parle alors de **flottabilité** des corps. Immergé, un corps apparaît beaucoup plus léger. Même si le poids P réel n'a pas changé (il se calcule toujours selon la formule $P = m \cdot g$), on parle de poids apparent pour décrire ce qu'on ressent d'un point de vue des forces.
- En résumé :
 - Flottabilité **positive** : le corps a tendance à remonter en surface.
 - Flottabilité **négative** : le corps coule.
 - Flottabilité **nulle** : le corps est en équilibre entre deux eaux, le poids apparent est nul.

Vers le grand oral

Prendre des photos de la fabrication de la maquette et préparer une courte présentation expliquant la flottabilité de la maquette du sous-marin réalisée.

Cahier des charges à suivre

- Lister les caractéristiques du sous-marin (dimension, masse...).
- Déterminer les matériaux qui vont servir pour les différentes parties de la maquette (sphère, coque...) afin d'assurer une flottabilité à la maquette. Ne pas s'occuper du système de propulsion ni des batteries.
- Choisir une échelle de construction adaptée à la construction de la maquette (1/10^e, 1/100^e...) et la fabriquer en atelier.

DOC. 3 La poussée d'Archimède.

- Tout corps plongé dans un fluide subit une force verticale, de bas en haut et égale au poids du volume de fluide déplacé. Cette force s'appelle la poussée d'Archimède, elle est notée P_A et vaut :

$$P_A = \rho_{\text{fluide}} \cdot V_{\text{fluide déplacé}} \cdot g$$

avec ρ_{fluide} masse volumique du fluide exprimée en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $V_{\text{fluide déplacé}}$ volume de fluide déplacé exprimé en m^3 , g l'intensité de la pesanteur. ($g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)

S'approprier le projet avant de commencer

- 1 Réaliser un bilan des forces qui s'exercent sur le Nautille en immersion.
- 2 Quelles sont les différents paramètres qui influencent la flottabilité du Nautille ? Quels sont ceux que l'on peut faire varier au cours d'une plongée ?
- 3 En déduire les différents leviers d'action pour modifier la flottabilité du Nautille.

Se préparer

et réviser les acquis de 1^{re}

Pour l'enseignant

↓ Diaporama des questions flash

Questions flash



CORRIGÉS p. 300-304

Pour chaque question, trouver la ou les bonnes réponses.

- 1 À quel angle (exprimé en radians) correspond un tour complet lors d'une rotation ?
 - a. π radians.
 - b. 2π radians.
 - c. $\frac{\pi}{2}$ radians.
- 2 À quel angle (exprimé en degrés) correspond un tour complet lors d'une rotation ?
 - a. 90° .
 - b. 180° .
 - c. 360° .
- 3 La vitesse linéaire moyenne se définit comme...
 - a. le rapport de la distance parcourue sur la durée du parcours.
 - b. le produit de la distance parcourue par la durée du parcours.
 - c. le rapport de la durée du parcours sur la distance parcourue.
- 4 Un mouvement de rotation...
 - a. est un mouvement circulaire.
 - b. est un mouvement rectiligne.
 - c. s'effectue autour d'un axe de rotation.
- 5 Le poids d'un objet est égal...
 - a. au rapport de sa masse sur l'intensité de la pesanteur.
 - b. au rapport de l'intensité de la pesanteur sur sa masse.
 - c. au produit de sa masse par l'intensité de la pesanteur.

Capacités exigibles

- Définir et calculer le moment d'une force et d'un couple de forces.
- Exploiter graphiquement la caractéristique mécanique d'un moteur pour déterminer le point de fonctionnement d'un ensemble moteur-charge en régime permanent.
- Écrire et exploiter la relation entre vitesse linéaire et vitesse angulaire.

Activités 1 4

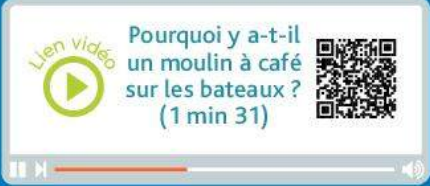

Activité 2

Activité 3

Mouvements de rotation

Lien vidéo

Pourquoi y a-t-il un moulin à café sur les bateaux ? (1 min 31)



Un voilier de course se déplace le plus souvent en ligne droite entre deux virements de bord. Et pourtant les manœuvres à bord s'effectuent souvent sur des systèmes en rotation. Le lien n'est pas forcément direct mais l'étude des mouvements de rotation peut s'avérer utile.



Liens avec les maths

- Lecture et exploitation de courbes.

Activité 2

Activités



- 1 Levez l'ancre !
- 2 Moteur, on roule !
- 3 Quelle vitesse dans un manège ?
- 4 Comment modéliser une balance romaine pour effectuer une pesée ?

documentaire

documentaire

expérimentale

expérimentale

Levez l'ancre !

Capacité Définir et calculer le moment d'un couple de forces.

Objectif Expliquer l'intérêt d'un cabestan pour relever une ancre de bateau.

Sur un navire, le cabestan permet de combiner la force de plusieurs hommes : un gros tambour à axe vertical, dans lequel on insère des leviers que poussent les hommes, et autour duquel s'enroule un cordage. Il en résulte une force de traction suffisante pour lever une ancre de plusieurs tonnes.



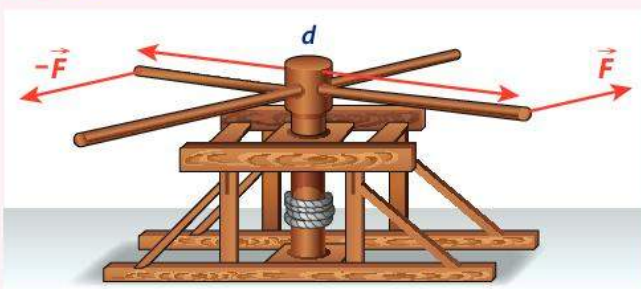
DOC. 1 Sculpture de marins relevant une ancre à l'aide d'un cabestan.



Données

Masse de l'ancre : 1,6 tonne.
 Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.
 Chaque levier mesure 2,5 m.
 Chaque marin exerce une force de même intensité.

DOC. 2 Notion de couple de forces.



Un couple est un ensemble de forces appliquées à un solide dont la somme est nulle, mais dont le moment total est non nul.

Le moment du couple de forces représentées ici vaut $C = F \cdot d$.

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **S'approprier** Schématiser le cabestan du doc. 1 en vue de dessus. Y faire apparaître la force exercée par chaque marin.

2 » **Analyser** Que dire de la somme des vecteurs forces exercés par les marins ?

3 » **Analyser - Valider** Quelle masse chacun des quatre marins devrait-il être capable de soulever pour qu'ils puissent sortir l'ancre (doc. 1) de l'eau sans cabestan ? Conclure.

Conclusion

Quel est l'intérêt d'utiliser un cabestan pour remonter une ancre ?

4 » **S'approprier** Ces quatre marins utilisent donc le cabestan. Ils se positionnent à l'extrémité de chaque levier (doc. 1). Quel en est l'intérêt compte tenu de l'expression du moment d'un couple de forces (doc. 2) ?

5 » **Analyser** Pour sortir l'ancre de l'eau, les quatre marins doivent fournir un couple de $8,0 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}$. Quel couple de forces doit fournir chaque binôme de marins ?

6 » **Analyser - Valider** En déduire la force de poussée exercée par chaque marin. À quelle masse cela équivaut-il ?

2 Moteur, on roule !

ACTIVITÉ

Capacité

Exploiter graphiquement la caractéristique mécanique d'un moteur pour déterminer le point de fonctionnement d'un ensemble moteur-charge en régime permanent.

Objectif

Déterminer le point de fonctionnement d'un moteur.

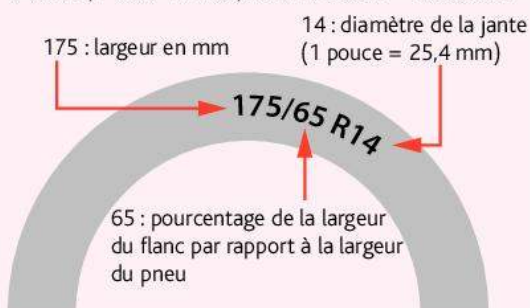
Intéressons-nous au fonctionnement du moteur d'une Audi A5. Les roues motrices de cette voiture, situées à l'avant, ont les dimensions 225/50 R17. Le véhicule a une surface frontale $S = 2,5 \text{ m}^2$ et un coefficient de traînée $C_x = 0,25$.



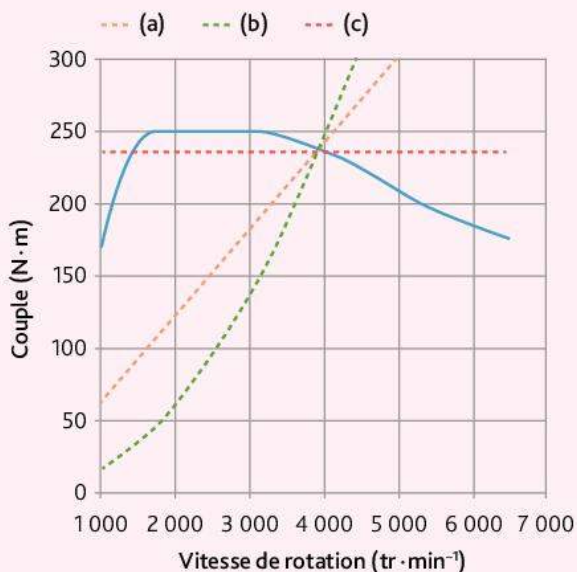
DOC. 1 Dimensions des pneumatiques.

Pour des pneus de dimensions 175/65 R14, le diamètre est égal à :

$$14 \times 25,4 \text{ mm} + 2 \times 0,65 \times 175 \text{ mm} = 583 \text{ mm}.$$



DOC. 2 Représentation du couple du moteur d'Audi A5 en fonction de sa vitesse de rotation.



DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **S'approprier** En utilisant le doc. 1, déterminer le rayon R des roues motrices de l'Audi A5.

2 » **Réaliser** Le couple résistant C_R est ici le produit de la traînée par le rayon des roues. Il peut s'écrire : $C_R = \frac{1}{10,6} \cdot \rho_{\text{air}} \cdot C_x \cdot S \cdot R^3 \cdot (\omega_{\text{moteur}}^2)$. En utilisant les données numériques, montrer que cela équivaut à $C_R = 0,0027 \cdot \omega_{\text{moteur}}^2$.

Données

Masse volumique de l'air :
 $\rho_{\text{air}} = 1,29 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

3 » **Valider** Sur le doc. 3, on propose trois courbes (a), (b) et (c) qui pourraient représenter le couple résistant en fonction de la vitesse angulaire du moteur. Laquelle d'entre elles correspond à l'expression établie à la question précédente ? Justifier.

4 » **Analyser** Pour obtenir le point de fonctionnement du moteur en régime permanent, il faut que le couple moteur compense le couple résistant. Comment déterminer graphiquement ce point de fonctionnement ?

Conclusion

Que valent alors la vitesse de rotation et le couple du moteur qui définissent le point de fonctionnement du moteur ?

3 Quelle vitesse dans un manège ? 1 h 30

ACTIVITÉ

Capacité Écrire et exploiter la relation entre vitesse linéaire et vitesse angulaire.

Objectif du TP Retrouver la relation entre vitesse linéaire et vitesse angulaire.

Un frère et une sœur, Gauthier et Margot, embarquent à bord du manège ci-contre. Margot s'installe en *A* et Gauthier en *B* (voir schéma). Tous deux sont adeptes et coutumiers de ce genre de sensations. Pourtant, Margot est malade en sortant du manège mais pas Gauthier. Margot se justifie auprès de son frère :

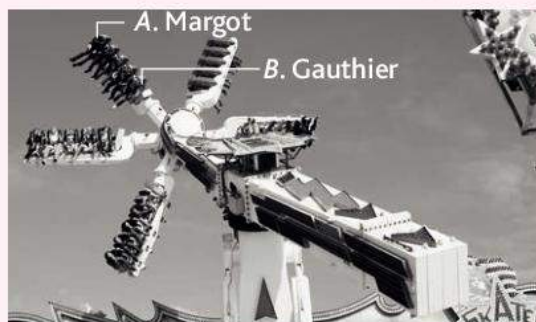
« C'est normal que je sois malade, j'ai tourné plus vite que toi. »

Et Gauthier de lui répondre :

« N'importe quoi !!! Nous tournions tous les deux aussi vite. »



DOC. 1 Représentation schématique de la situation.



MATÉRIEL

– Table à coussins d'air.



– Mobile autoporteur.

– Webcam.

– Logiciel Tracker

ÉTAPE 1 Manipulation

1. À l'aide du matériel disponible, enregistrer la trajectoire d'un mobile autoporteur en rotation.
2. Noter l'intervalle de temps Δt entre deux positions consécutives.

ÉTAPE 2 Exploitation de l'enregistrement

3. Par une méthode de votre choix, déterminer le centre de la trajectoire circulaire. Mesurer le rayon de cette trajectoire.
4. À l'aide d'un rapporteur, en prenant un intervalle de temps suffisamment grand, déterminer la vitesse angulaire, la convertir en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$.
5. En mesurant la distance entre deux positions consécutives que l'on assimilera à la longueur de l'arc de cercle, déterminer la vitesse linéaire du mobile, la convertir en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

ÉTAPE 3 Conclusion

6. Comparer le produit du rayon de la trajectoire (en m) par la vitesse angulaire (en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$) à la vitesse linéaire obtenue (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$). En déduire la relation entre ces trois grandeurs.
7. Gauthier et Margot parlent-ils de la même vitesse ?

Conclusion du TP

Expliquer alors l'origine du désaccord entre Gauthier et Margot.

Comment modéliser une balance romaine pour effectuer une pesée ?



1 h 30

Capacité

Définir et calculer le moment d'une force.

Objectif du TP

Comprendre le fonctionnement d'une balance romaine et en modéliser une avec le matériel disponible.

DOC. 1 La balance romaine.

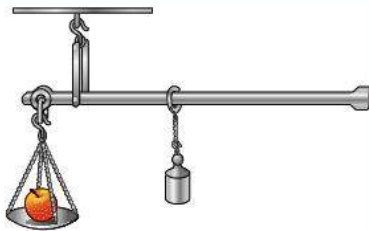
La balance romaine se compose d'un fléau suspendu par une anse qui le divise en deux bras inégaux. Le bras le plus court porte un bassin ou un crochet destiné à soutenir l'objet à peser. L'équilibre est obtenu à l'aide d'une masse constante qui, au moyen d'un anneau, glisse sur le bras le plus long : cette seule masse mobile permet de peser divers objets. L'équilibre a lieu lorsque le fléau est horizontal. Une balance romaine illustre parfaitement ce qu'est l'égalité des moments lors de l'équilibre. Lors d'une pesée, les deux masses suspendues sont sensiblement perpendiculaires au fléau, et donc le « pouvoir de basculement » des deux masses sera équilibré si le produit de leur poids par la distance est égal dans les deux cas. D'un côté, la distance est fixe mais la masse est inconnue, de l'autre la masse est fixe mais la distance est variable, et la balance permet donc de lire la masse inconnue sur la graduation de longueur portée par le fléau.



MATÉRIEL

- Boîte de masses marquées.
- Objet de masse inconnue.
- Maquette pour la mesure de moment de forces.

DOC. 2 Fonctionnement de la balance.



ÉTAPE 1 Comprendre le fonctionnement d'une balance romaine

1. À partir du doc. 1, attribuer les lettres *A*, *B*, *C*, *P* et *W* aux éléments suivants : objet à peser, anse, masse mobile, fléau.
2. Faire un schéma simplifié de la balance romaine. Y faire apparaître le vecteur poids constant \vec{P}_1 , la distance *CP* notée d_1 , le vecteur poids suspendu \vec{P}_2 et la distance *CA* notée d_2 .
3. « Une balance romaine illustre parfaitement ce qu'est l'égalité des moments lors de l'équilibre. »
Mettre en équation cette phrase en s'inspirant de l'expression suivante : « ... le produit du poids par la distance est égal dans les deux cas ».
4. Utiliser les notations de la question précédente avec P_1 valeur du poids constant et P_2 valeur du poids suspendu.

ÉTAPE 2 Modélisation d'une balance romaine

5. À l'aide du matériel disponible, établir un protocole expérimental permettant de déterminer la masse de l'objet mis à disposition. Utiliser un schéma légendé. Expliciter les calculs qui mèneront à la masse inconnue.
6. Mettre en œuvre le protocole précédent et mesurer les grandeurs utiles. En déduire la masse inconnue.
7. **Mesure et incertitudes** Après concertation avec le professeur, vérifier le résultat obtenu avec la balance située sur la paillasse du professeur. Déterminer un écart relatif.

Conclusion du TP

Conclure quant à la pertinence du modèle de balance romaine réalisé.

A Notion de vitesse angulaire

COURS

1 Définition

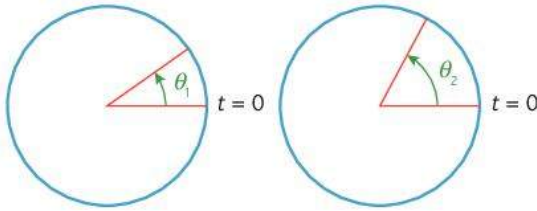
- La **vitesse angulaire** ω d'un objet en rotation est le quotient de la variation angulaire sur la durée de rotation : $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$,
avec ω : vitesse angulaire en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$;
 $\Delta\theta$: variation angulaire en rad ;
 Δt : durée de rotation en s.
- Tous les points du solide en rotation ont la **même vitesse angulaire**.

Exemple : Schéma d'une centrifugeuse d'astronaute.

$t = 0$ Départ centrifugeuse pour l'astronaute

θ_1 : angle parcouru à t_1

θ_2 : angle parcouru à t_2



$$\text{Vitesse angulaire : } \omega = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1}$$

Exemple : Compte tours d'une voiture en r/min (rounds/minute).

Remarque

- On donne souvent les vitesses angulaires en $\text{tours} \cdot \text{min}^{-1}$:

$$1 \text{ tour} \cdot \text{min}^{-1} = \frac{1 \text{ tour}}{1 \text{ min}} = \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} = \frac{2\pi}{60} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}.$$

- Inversement $1 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} = \frac{60}{2\pi} \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

Exemple : Compte tours d'une voiture en r/min (rounds/minute).



2 Relation entre vitesse et vitesse angulaire

- La **vitesse** v est reliée à la vitesse angulaire ω par : $v = R \cdot \omega$,
avec v : vitesse en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;
 R : distance du point à l'axe de rotation en m ;
 ω : vitesse angulaire en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$.

Remarque

- Les radians sont une unité sans dimension.
- Ne pas oublier de convertir les $\text{tours} \cdot \text{min}^{-1}$ en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ pour appliquer la formule.

INFOS FLASH

Dans les systèmes d'entraînement des cosmonautes, la vitesse à l'extrémité du bras dépasse les 70 km/h.

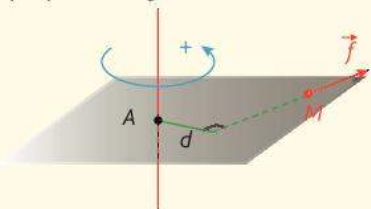


B Moment d'une force et couple de forces

COURS

1 Notion de droite d'action et de bras de levier

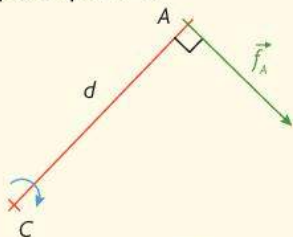
- On considère un système en rotation autour d'un axe orienté par le vecteur \vec{u} . Une force \vec{f} est appliquée au système en M .



- La **droite d'action de la force** \vec{f} est la droite dirigée par ce vecteur et passant par M (en pointillé sur le schéma)
- Le **bras de levier** est la plus courte distance entre cette droite d'action et l'axe de rotation, représentée par la distance d sur le schéma.

2 Moment d'une force par rapport à un axe de rotation

- Une force \vec{f}_A est appliquée en un point A d'un solide en rotation autour d'un axe passant par le point C . La distance d sépare la droite d'action de la force \vec{f}_A de l'axe de rotation passant par le point C .



- Le **moment de la force** \vec{f}_A par rapport à l'axe de rotation vaut alors : $M(\vec{f}_A) = f_A \cdot d$, avec M en $N \cdot m$; f_A en N ; d en m (appelée aussi « bras de levier »).

Exemple : Moment d'une force exercée pour changer une roue.



Conséquences

- Le moment est nul lorsque \vec{f}_A coupe l'axe de rotation.
- Le moment est maximal lorsque \vec{f}_A est perpendiculaire à la droite (CA).

INFOS FLASH

Sur les voiliers, les winchs (« cabestan moderne ») peuvent multiplier les efforts du skipper par 40. Celui-ci peut ainsi manipuler à lui seul des voiles de deux tonnes !



3 Couple de forces et moment d'un couple de forces

- Un **couple** est constitué de deux forces ayant même direction, même intensité mais de **sens contraire**.
- Le **moment M d'un couple de forces** d'intensité F s'écrit $M = F \cdot d$ où d est la distance qui sépare les droites d'action des deux forces. Attention à ne pas confondre dans ce cas d avec le bras de levier.

Exemple : Application d'un couple de forces lors de l'utilisation d'une clé en croix pour changer une roue.



Lien vidéo

Différence entre puissance et couple (7 min 36 s)

INFOS FLASH

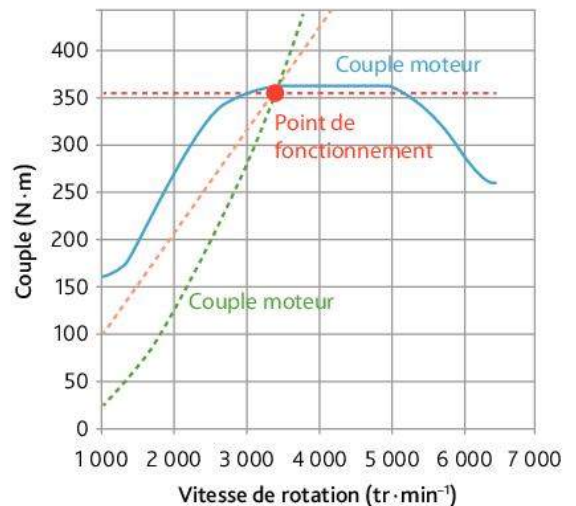
Sur certains voiliers, le « moulin à café », ou winch, à colonne fait fonctionner les quatre winchs. Vertical et doté de deux manivelles, il permet au skipper d'appliquer un couple de forces debout, avec ses deux bras, dans une position plus efficace que sur un winch.



4 Exploitation de la caractéristique mécanique d'un moteur

- Le **point de fonctionnement d'un ensemble moteur-charge** en régime permanent peut se déterminer graphiquement à l'aide de la caractéristique mécanique du moteur. Dans le cas d'un véhicule roulant à vitesse constante, il s'obtient lorsque le **couple moteur** vient compenser le **couple résistant** essentiellement dû au couple de la force de traînée, conséquence des frottements de l'air sur le véhicule. Sur le graphe ci-contre, il s'agit des coordonnées du **point d'intersection** entre le couple moteur et le couple résistant.

Exemple : Représentation du couple d'un moteur en fonction de sa vitesse de rotation.





A. Notion de vitesse angulaire

Que vaut la vitesse angulaire ω d'un système en rotation ?

$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ avec $\Delta\theta$ l'angle parcouru pendant la durée Δt .

Quelle est la relation avec la vitesse linéaire v ?

$v = R \cdot \omega$ avec R rayon de la trajectoire.

Quelle est l'unité de la vitesse angulaire ?

Unité usuelle :
 $1 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1} = \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}}$
Système international : $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$

B. Moment d'une force et couple de forces

Calculer le moment d'une force. Nombre de forces participant à la rotation ?

1 force

Calculer le bras de levier : distance droite d'action/axe de rotation.

Calculer le moment de la force :
 $M = f \times d$.

2 forces

Calculer la distance entre les droites d'action.

Calculer le couple des forces :
 $M = f \times d$.

Questions flash  Pour chaque question, trouver la ou les bonne(s) réponse(s).



CORRIGÉS p. 300-304

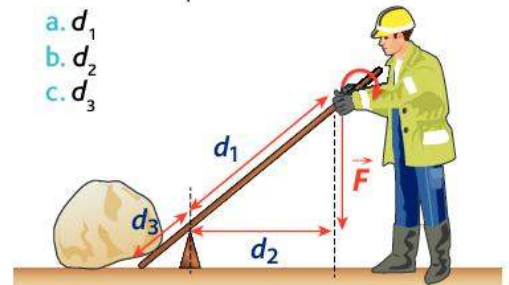
- 1** 1 tour par minute équivaut à...
- $\frac{2\pi}{60}$ radian par seconde.
 - $\frac{60}{2\pi}$ radians par seconde.
 - $\frac{360}{60}$ radians par seconde.

- 2** La vitesse angulaire est...
- le quotient de la vitesse linéaire sur le rayon de la trajectoire circulaire.
 - le produit de la vitesse linéaire par le rayon de la trajectoire circulaire.
 - le quotient du rayon de la trajectoire circulaire sur la vitesse linéaire.

- 3** Le bras de levier d'une force est...
- la distance entre le point d'application de cette force et l'axe de rotation.
 - la plus courte distance entre la droite d'action de cette force et l'axe de rotation.
 - la longueur du vecteur force.

- 4** Sur le schéma ci-dessous, le bras de levier correspond à la distance...

- d_1
- d_2
- d_3



- 5** Le moment d'une force est...
- le produit de la force par le bras de levier.
 - le quotient de la force sur le bras de levier.
 - le quotient du bras de levier sur la force.

- 6** Les deux forces d'un couple de forces doivent...
- avoir la même intensité.
 - être de sens opposé.
 - être dans le même sens.

Vrai ou Faux ? Pour chaque proposition, déterminer si elle est vraie ou fausse.

- Une vitesse angulaire de $3\,000 \text{ tours} \cdot \text{min}^{-1}$ correspond à $314 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$.
- Une vitesse angulaire de $209 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ correspond à 4 000 tours par minute.
- Le moment d'une force $F = 200 \text{ N}$ dont le bras de levier vaut 4,0 m vaut $50 \text{ N} \cdot \text{m}$.
- Le bras de levier d'une force $F = 100 \text{ N}$ dont le moment vaut $200 \text{ N} \cdot \text{m}$ vaut 50 cm.
- Une force, dont le bras de levier vaut 60 cm et le moment $120 \text{ N} \cdot \text{m}$, vaut 200 N.

A Notion de vitesse angulaire

1 lame de scie circulaire

Une lame de scie circulaire de 185 mm de diamètre tourne à la vitesse de 5 000 tours/min.



1. Quel est l'angle (en radians) parcouru par une dent de cette scie pendant une minute ?
2. En déduire la distance parcourue par une dent de cette scie pendant une minute.

2 Disque 33 tours

Les disques 33 tours sont appelés ainsi car ils effectuent 33 tours par minute. Ils ont généralement un diamètre de 30 cm.

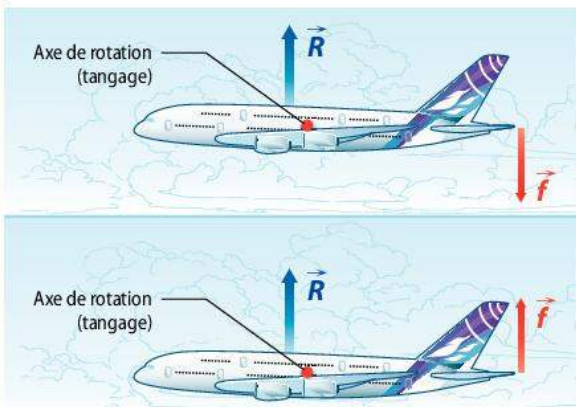


1. Déterminer la vitesse angulaire (en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$) d'un disque 33 tours.
2. En déduire la vitesse linéaire (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) d'un point en bordure extérieure du disque.

B Moment d'une force et couple de forces

3 Piqué d'un avion

1. Pour réaliser une rotation autour de l'axe de tangage, le pilote d'un Airbus A320 pousse ou tire sur le « manche ». Cette action crée une force \vec{f} exercée sur l'empennage arrière, comme indiqué ci-dessous. La portance, notée \vec{R} , est la force qui permet le maintien de l'avion en vol.



1. Indiquer le schéma qui correspond à un piqué de l'avion (situation où l'avion s'incline vers l'avant).

2. Sachant que l'avion mesure 38 m et que l'axe de tangage se trouve environ au milieu de l'avion, estimer le moment de la force \vec{f} sachant que f vaut environ 80 kN.

4 Moteur de Formule E



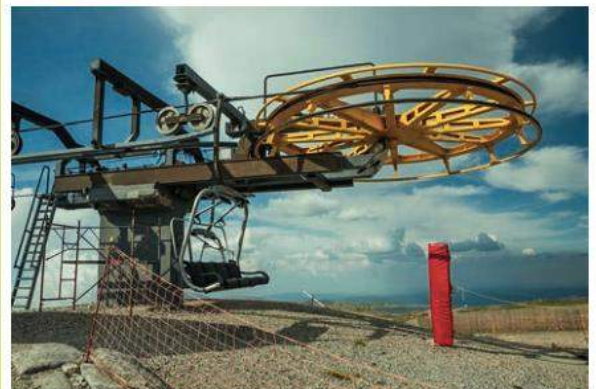
Le moteur d'une Formule E est un moteur électrique triphasé à courant alternatif. Les courants alternatifs créent, grâce aux bobinages du stator, un champ magnétique tournant. Le champ magnétique tournant va mettre en rotation le rotor. Le rotor peut tourner à la vitesse angulaire $\omega = 4\,000 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ et fournir un couple $C = 140 \text{ N}\cdot\text{m}$.

1. Convertir la vitesse angulaire du rotor en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$.
2. En déduire la puissance mécanique $P_{\text{moteur}} = C \cdot \omega$, fournie par le moteur en kilowatts (kW).

5 Remontée mécanique

Une remontée mécanique fonctionne grâce à un moteur électrique qui entraîne la poulie de la station d'arrivée. Le câble qui s'entoure autour de la poulie avance à $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. La poulie a un diamètre de 5,0 m.

1. Déterminer la vitesse angulaire de la poulie en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$.
2. Convertir la vitesse angulaire en $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$.





6 Balançoire à bascule

Un enfant de masse $m_1 = 30$ kg veut jouer avec un adulte de masse $m_2 = 70$ kg sur une balançoire à bascule de longueur $l = 4,0$ m. L'enfant s'assied à une extrémité. L'adulte souhaite s'asseoir de sorte que chacun puisse se balancer facilement.

1. Calculer le poids P_1 de l'enfant et celui P_2 de l'adulte.
2. Effectuer un schéma de la balançoire à l'horizontale faisant apparaître les grandeurs utiles, l'axe de rotation, ainsi que les vecteurs poids de l'enfant et de l'adulte.
3. Exprimer puis calculer le moment du poids de l'enfant.
4. Le moment du poids de l'adulte doit compenser celui de l'enfant. En déduire sa valeur.
5. À quelle distance d de l'axe de rotation doit donc s'asseoir l'adulte ?



Données

Intensité de la pesanteur :
 $g = 9,8 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

RÉSOLUTION DÉTAILLÉE

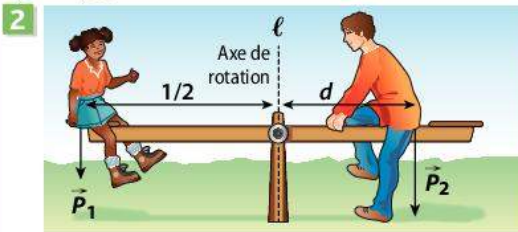
1 La formule qui permet de calculer le poids d'un objet est $P = m \cdot g$.

On en déduit le poids de l'enfant :

$$P_1 = m_1 \cdot g = 30 \times 9,8 = 2,9 \times 10^2 \text{ N.}$$

Poids de l'adulte :

$$P_2 = m_2 \cdot g = 70 \times 9,8 = 6,9 \times 10^2 \text{ N.}$$



3 Le moment du poids de l'enfant est égal au produit du poids P_1 de l'enfant par le bras de levier. Ici, l'enfant étant assis à l'extrémité de la balançoire, le bras de levier vaut donc la moitié de la longueur de la balançoire, soit $\frac{l}{2}$.

► **Application numérique :**

$$M(\vec{P}_1) = P_1 \cdot \frac{l}{2} = 2,9 \times 10^2 \times 2,0 = 5,9 \times 10^2 \text{ N}\cdot\text{m.}$$

► **Conclusion :** le moment du poids de l'enfant vaut $5,9 \times 10^2 \text{ N}\cdot\text{m}$.

4 Le moment du poids de l'adulte compensant celui de l'enfant, les deux moments sont donc égaux et on a $M(\vec{P}_1) = M(\vec{P}_2) = 5,9 \times 10^2 \text{ N}\cdot\text{m}$.

► **Conclusion :** le moment du poids de l'adulte vaut $5,9 \times 10^2 \text{ N}\cdot\text{m}$.

5 Le moment du poids de l'adulte $M(\vec{P}_2)$ est égal au produit du poids de l'adulte P_2 par le bras de levier d que l'on cherche à déterminer. On a donc $M(\vec{P}_2) = P_2 \cdot d$.

► **Application numérique :**

$$d = \frac{M(\vec{P}_2)}{P_2} = \frac{5,9 \times 10^2}{6,9 \times 10^2} = 0,86 \text{ m} = 86 \text{ cm.}$$

► **Conclusion :** l'adulte doit donc s'asseoir à 86 cm du milieu de la balançoire.

À vous de jouer

7 Barrière à bascule

Une commune souhaite installer une barrière en acier de masse $m_1 = 7,2$ kg avec un contrepoids de masse $m_2 = 21,6$ kg. La partie ouvrante de la barrière doit mesurer $l = 3,0$ m.

1. Calculer le poids P_1 de la partie ouvrante de la barrière.
2. Effectuer un schéma de la barrière à l'horizontale faisant apparaître les grandeurs utiles, l'axe de rotation ainsi que les vecteurs poids de la partie ouvrante et du contrepoids.
3. Exprimer puis calculer le moment du poids de la partie ouvrante.
4. Le moment du contrepoids doit compenser celui de la partie ouvrante. En déduire sa valeur.
5. À quelle distance d de l'axe de rotation faut-il placer le contrepoids ?



Exercices

Entraînement

8 Manège à sensations

» Analyser • Réaliser

Le manège El-volador est un manège à sensations que l'on trouve dans certains grands parcs. L'anneau monte à une hauteur d'environ 20 m et peut accueillir 40 passagers. On étudie le mouvement de l'anneau dans un référentiel lié au bras de maintien (anneau dans sa position la plus proche de la tête de l'oiseau).

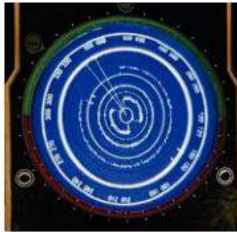


1. Décrire le mouvement d'une personne dans ce référentiel.
2. L'anneau de diamètre 8 m effectue 1 tour en 6 s.
 - a. Quelle est la vitesse angulaire d'un passager dans ce référentiel ?
 - b. Quelle est la vitesse linéaire d'un passager dans ce référentiel ?

9 Radar de navigation Application technologique

» Raisonner

Lors de son utilisation en navigation, l'écran de contrôle d'un radar est « rafraîchi » périodiquement, c'est-à-dire qu'il change ce qu'il affiche dès que l'antenne a décrit un tour complet sur elle-même.

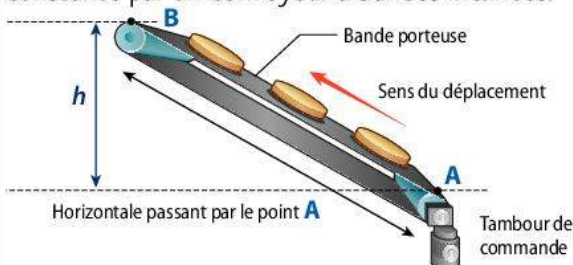


La vitesse de rotation de l'antenne peut être fixée à 24, 31 ou 41 tours \cdot min⁻¹. Parmi ces deux valeurs, quelle est celle qu'un navigateur devrait choisir s'il souhaite un rafraîchissement de l'écran toutes les 1,5 secondes environ ? Justifier.

10 Convoyeur de fromages

» Raisonner

Entre l'unité de fabrication et l'unité d'emballage, les fromages d'une laiterie sont transportés à vitesse constante par un convoyeur à bandes inclinées.



Données

Inclinaison du plateau par rapport à l'horizontale : 30°.
Distance parcourue : $D = AB = 5$ m.
Temps de transfert : 4,78 s.
Diamètre du tambour de commande : 11,2 cm.
Diamètre du fromage : 20 cm.
Masse d'un fromage : 700 g.

1. Sachant que l'on dépose à l'entrée du convoyeur un fromage toutes les 2 secondes, calculer la vitesse minimale de la bande porteuse pour que deux fromages successifs soient éloignés d'au moins 2 cm.
2. Calculer la vitesse linéaire réelle v_b de la bande porteuse. Peut-il y avoir superposition de deux fromages ?
3. Déterminer la vitesse de rotation du tambour de commande motorisé. L'exprimer en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$, puis en $\text{tour} \cdot \text{min}^{-1}$.

11 Démonte-roue

» Analyser

Pour changer la roue d'un véhicule, on utilise un démonte-roue. On peut en trouver des modèles télescopiques dans le commerce.

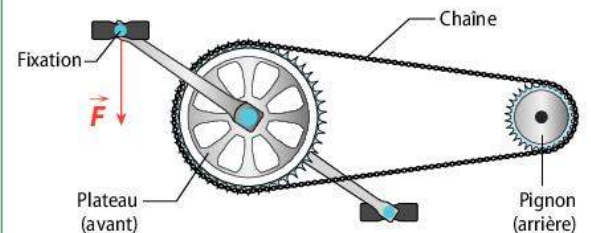


Justifier qualitativement l'intérêt du démonte-roue télescopique.

12 Pédalier

» Analyser • Réaliser

Un cycliste exerce une force \vec{F} sur une des pédales de son vélo, selon le schéma ci-dessous.



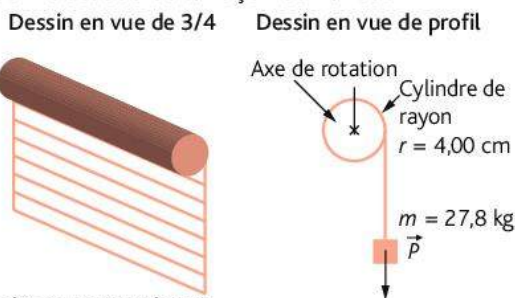
1. Reproduire le schéma et y repérer le bras de levier d de la force \vec{F} .
2. Exprimer le moment de la force \vec{F} .
3. Calculer la vitesse de rotation ω (en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ puis en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$) si le moment du couple moteur vaut 40 N.m pour une puissance mécanique de 100 W. La puissance mécanique est égale au produit du couple moteur (N.m) par la vitesse angulaire ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$).



13 Volet roulant Application technologique

» Analyser • Réaliser

On étudie le volet roulant motorisé d'une baie vitrée d'appartement. Le volet est équivalent à une masse $m = 27,8 \text{ kg}$ suspendue à un fil enroulé autour d'un cylindre de rayon $r = 4 \text{ cm}$. Le moteur utilisé développe une puissance $P_{\text{moteur}} = 25 \text{ W}$ et sa vitesse angulaire vaut $16 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$. La situation est modélisée de la façon suivante :



Volet en position basse

Parcours A

Sachant que la puissance mécanique développée par le moteur est égale au produit du couple moteur ($\text{N} \cdot \text{m}$) par la vitesse angulaire ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$), le moteur est-il capable de remonter le volet ?

Parcours B

1. Calculer le poids P de la masse m modélisant le volet.
2. Calculer le moment M_p du poids P par rapport à l'axe de rotation.
3. Durant la phase de remontée du volet, le moteur doit exercer un couple de forces compensant le moment du poids du volet.

Sachant que la puissance mécanique est égale au produit du couple moteur ($\text{N} \cdot \text{m}$) par la vitesse angulaire ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$), quel couple moteur est exercé par le moteur durant cette phase de remontée du volet ?

4. Le moteur choisi est-il capable de remonter le volet ?

14 Éolienne

» Réaliser

Lorsque la vitesse du vent est suffisante, les pales de l'éolienne d'un bâtiment à énergie positive se mettent en mouvement ; elles exercent alors un couple de forces plus ou moins important sur le rotor.



1. Calculer la valeur C du moment du couple de forces exercé par les pales de l'éolienne, lorsqu'elles effectuent un tour complet.

Données

1 tour = $2\pi \text{ rad}$.

Aide

Le travail du couple de forces est égal au produit du moment du couple (en $\text{N} \cdot \text{m}$) par l'angle de rotation (en rad) et vaut $W = 2,0 \times 10^2 \text{ J}$.

2. En déduire la valeur de la puissance mécanique P d'une éolienne lorsque la vitesse angulaire ω vaut $1\,500 \text{ tr/min}$.

Aide

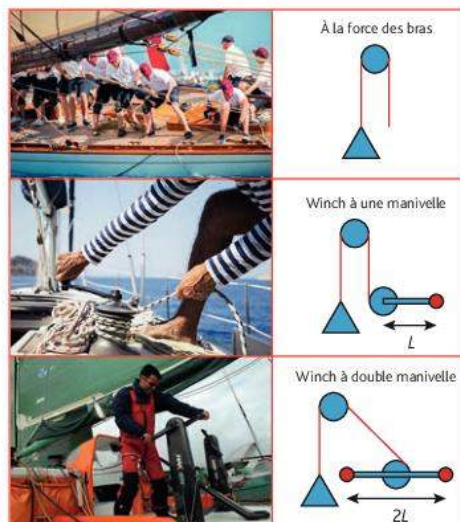
La puissance mécanique est égale au produit du moment du couple de forces ($\text{N} \cdot \text{m}$) par la vitesse angulaire ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$).

15 Efficacité d'un winch

» Valider • Réaliser

Sur un voilier, pour remonter ou descendre la grand-voile, on peut utiliser différents dispositifs.

Un winch est un équipement fixe placé sur le pont d'un voilier, qui permet de démultiplier la traction exercée par l'équipage sur les cordages utilisés pour contrôler la voilure.



1. Sachant que la grand-voile a une masse $m = 200$ kg, quelle est la valeur de son poids P ? En déduire la valeur de la force F_1 nécessaire pour remonter la grand-voile à vitesse constante. Est-ce possible pour un marin de la remonter seul ?

2. Dans un winch à manivelle, la corde est enroulée sur le corps du winch, de rayon $r = 4$ cm et relié à une manivelle de longueur $L = 16$ cm.

D'après le théorème des moments, on a la relation : $F_2 \cdot L = P \cdot r$ avec F_2 et P en newtons, L et r en mètres. Calculer la valeur de la force F_2 exercée par le marin.

3. Pour le winch à deux manivelles, celles-ci sont séparées d'une distance de $2L$. Les deux forces exercées par chaque main du marin constituent un couple. Quelles conditions doivent-elles remplir pour constituer ce couple ? Calculer la valeur F_3 commune à ces deux forces.

4. Quel est le rapport entre F_1 et F_2 puis entre F_1 et F_3 ? Argumenter l'expression « démultiplier la traction exercée par l'équipage ».

16 Barrière de parking

» Analyser

Une barrière de parking de masse $m = 20$ kg est mobile autour d'un axe. Le centre de gravité G de la barrière se trouve à 1,2 m de l'axe de rotation. Cet axe est celui de l'arbre d'un moteur permettant de soulever la barrière.



- Calculer la valeur du poids P de la barrière.
- La barrière est initialement à l'horizontale. Afin de soulever la barrière, déterminer le moment du couple que doit exercer le moteur.

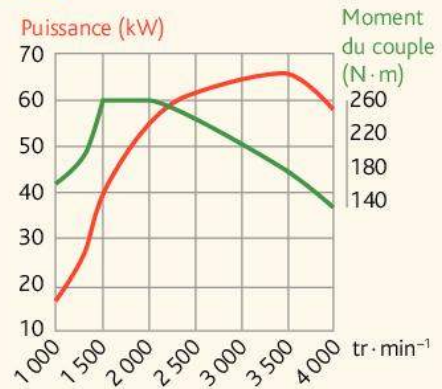
17 Puissance d'un moteur

» S'approprier

- Relever les valeurs de couple et de puissance développée pour le moteur fonctionnant à $3\,000$ $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ décrit dans le schéma ci-dessous.
- Vérifier numériquement, pour une vitesse angulaire de $3\,000$ $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$, que la puissance du

moteur est bien égale au produit du moment du couple par la vitesse angulaire en $\text{rad} \cdot \text{sec}^{-1}$.

DOC. Puissance d'un moteur.

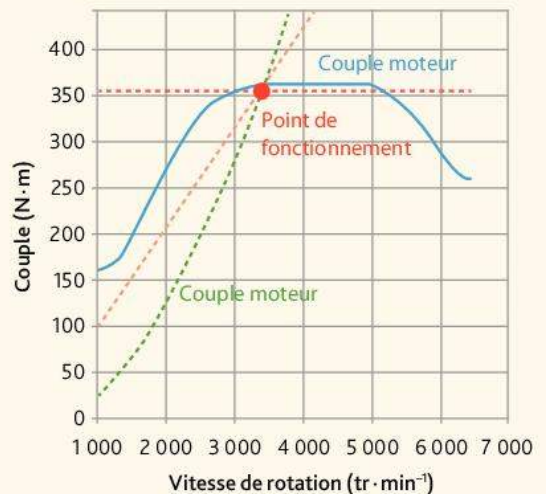


18 Moteur d'une Mégane RS Application technologique

» S'approprier Maths

Le document ci-dessous donne la courbe représentant le couple du moteur de la Mégane RS Trophy en fonction de sa vitesse de rotation.

DOC. Couple du moteur.



Le couple résistant, dû à la traînée, s'exprime : $C_R = 0,0031 \cdot \omega_{\text{moteur}}^2$

1. Sur le document ci-dessus, on propose trois courbes qui pourraient représenter le couple résistant en fonction de la vitesse angulaire du moteur. Laquelle d'entre elles correspond à l'expression du couple résistant ? Justifier.

2. Pour obtenir le point de fonctionnement du moteur en régime permanent, il faut que le couple moteur compense le couple résistant. Que valent alors le couple et la vitesse de rotation du moteur ?

19 Le sous-marin Nautille



Le Nautille est un sous-marin habité, conçu par l'Ifremer, pour l'observation et l'intervention jusqu'à 6 000 mètres de profondeur. Il rend accessible 97 % de la superficie des fonds marins.

DOC. 1 Choix du profilé.

La sphère offre, pour une pression donnée, le meilleur rapport masse/volume disponible, suivie de l'ellipsoïde, puis du cylindre. Mais le choix ne repose pas que sur cet unique critère. En matière d'hydrodynamisme, l'ordre est différent : ellipsoïde, cylindre, sphère. Le choix s'est finalement porté sur une sphère, elle-même enchâssée dans une coque ellipsoïdale. Cette coque extérieure bien profilée aide à donner à notre sous-marin un faible coefficient de traînée (C_x) suivant l'axe horizontal.






DOC. 2 Coefficient de traînée C_x .

L'intensité de la force de frottements f exercée par l'eau est donnée par la relation :

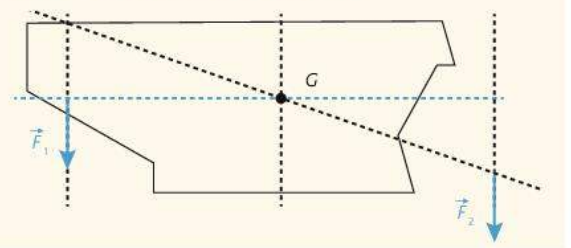
$$f = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \rho \cdot S \cdot v^2$$

C_x : coefficient de traînée (sans unité) ; ρ : masse volumique de l'eau ($1030 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) ; v : vitesse ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) ; S : surface frontale (m^2).

DOC. 3 Forme profilée et coefficient de traînée.

Forme	Coefficient de traînée
Sphère 	0,47
Demi-sphère 	0,42
Cube 	1,05
Corps profilé 	0,04
Semi-corps profilé 	0,09

DOC. 4 Schéma du Nautille.



1. **Analyser** À l'aide des doc. 1 à 3, pour une surface frontale $S = 14 \text{ m}^2$, calculer le coefficient de traînée C_x si $f = 300 \text{ daN}$. Le choix d'une forme profilée, lors de la conception du Nautille, a-t-il permis d'améliorer le coefficient de traînée ?

2. **Réaliser** Reproduire le schéma du Nautille ci-dessus. Y placer la distance d_1 correspondant au « bras de levier » de la force \vec{F}_1 lorsque le Nautille prélève un échantillon de roche. L'axe de rotation du système passe par le point G .

3. Calculer le moment $M(\vec{F}_1)$ de la force \vec{F}_1 sachant que le bras de levier d_1 vaut $4,00 \text{ m}$.

4. Afin de garder la même assiette, il faut compenser le moment précédent par un autre moment $M(\vec{F}_2)$. Le mouvement du mercure assure cette stabilité en jouant sur les moments de force qui agissent sur le sous-marin : $M(\vec{F}_1) - M(\vec{F}_2) = 0$.

Sachant que le bras de levier de la force \vec{F}_2 vaut $d_2 = 3,00 \text{ m}$, déterminer l'intensité de cette force.

5. La force \vec{F}_2 correspondant au poids du mercure, déterminer la masse m_2 de mercure nécessaire pour garder l'assiette nulle.

Données

Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

6. En déduire le volume V_2 correspondant, exprimé en litres (L).

Données

Masse volumique du mercure $\rho = 13\,600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Mini-projet d'application

Comment déterminer le couple moteur et le régime moteur d'un véhicule ?

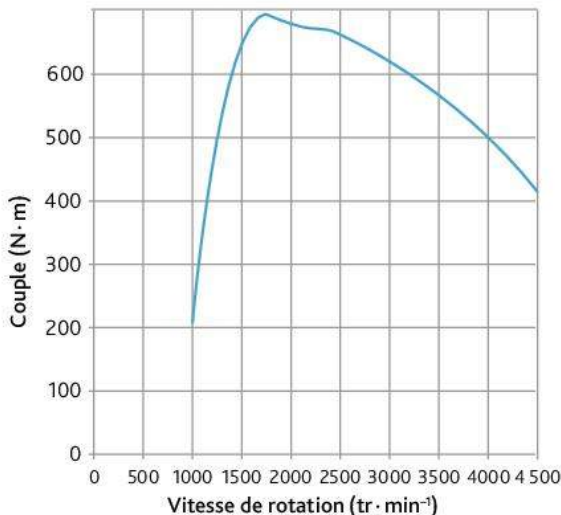


DOC. 1 Quelques caractéristiques de la Mercedes S350 Bluetec.

Dimensions	
Longueur	525 cm
Largeur	190 cm
Hauteur	149 cm
Roues/pneus	
Roues motrices	Propulsion arrière
Pneumatiques	AV 245/45 R19 AR 275/40 R19
Aérodynamisme	
Coefficient de traînée C_x	0,24
Rapport de boîte de vitesse	
Coefficient de démultiplication*	1,72

*Le coefficient de démultiplication est le rapport de la vitesse angulaire de l'arbre moteur sur la vitesse angulaire des roues.

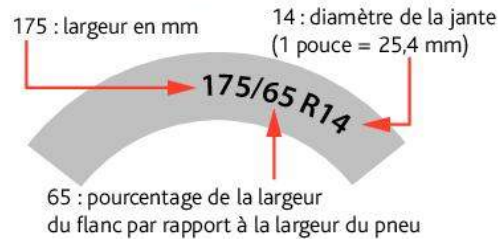
DOC. 2 Courbe représentant le couple du moteur OM 642 de la Mercedes S350 en fonction de sa vitesse de rotation.



Cahier des charges à suivre

- ➔ Exprimer le couple résistant dû à la traînée en fonction de la vitesse de rotation du moteur.
- ➔ Tracer la courbe correspondante sur le graphe du couple moteur.
- ➔ Déduire le point de fonctionnement du moteur.

DOC. 3 Dimensions des pneumatiques de voiture.



DOC. 4 Point de fonctionnement du moteur.

Le point de fonctionnement du moteur en régime permanent est obtenu lorsque le couple moteur compense le couple résistant. Ce dernier est assimilé au moment de la force de traînée appliquée à la périphérie d'une roue.

Vers le grand oral

Comment expliquer que les marins qui naviguent en solitaire puissent, à l'aide des winchs, manipuler des voiles de masse élevée ?

S'approprier le projet avant de commencer

- 1 Montrer que le diamètre d'un pneu de dimensions 185/65 R14 vaut 596 mm.
- 2 Pour un coefficient de démultiplication de 2, exprimer la vitesse de rotation de l'arbre moteur ω_{moteur} en fonction de celle des roues ω_{roues} .
- 3 Exprimer la vitesse v d'une voiture en fonction de la vitesse de rotation d'une roue et de son diamètre.

Se préparer

et réviser les acquis de 1^{re}

Pour l'enseignant

↓ Diaporama des questions flash

8

Questions flash



CORRIGÉS p. 300-304

Pour chaque question, trouver la ou les bonnes réponses.

- Un panneau solaire photovoltaïque transforme l'énergie solaire en énergie...
 - mécanique.
 - chimique.
 - électrique.
- Un panneau solaire thermique transforme l'énergie solaire en énergie...
 - thermique.
 - chimique.
 - électrique.
- L'énergie solaire est d'origine...
 - chimique.
 - nucléaire.
 - physique.
- Le transfert d'énergie du Soleil vers la Terre se fait par...
 - conduction.
 - convection.
 - rayonnement.
- Les panneaux solaires doivent être installés de préférence...
 - à l'ombre.
 - en plein soleil.
 - peu importe, ils ont de très bons rendements.
- Parmi ces unités, laquelle n'est pas l'unité d'une énergie ?
 - [kWh].
 - [J].
 - [W · m⁻²].

Capacités exigibles

- Interpréter les échanges d'énergie entre la matière et la lumière à l'aide de la notion de photon.
- Identifier les formes d'énergie mises en jeu dans une conversion photovoltaïque et une conversion photo-thermique.
- Exploiter les caractéristiques tension-courant d'un panneau photovoltaïque pour identifier son point de fonctionnement.

Activités 1 2

Activités 1 2 4

Activité 3

L'énergie transportée par la lumière

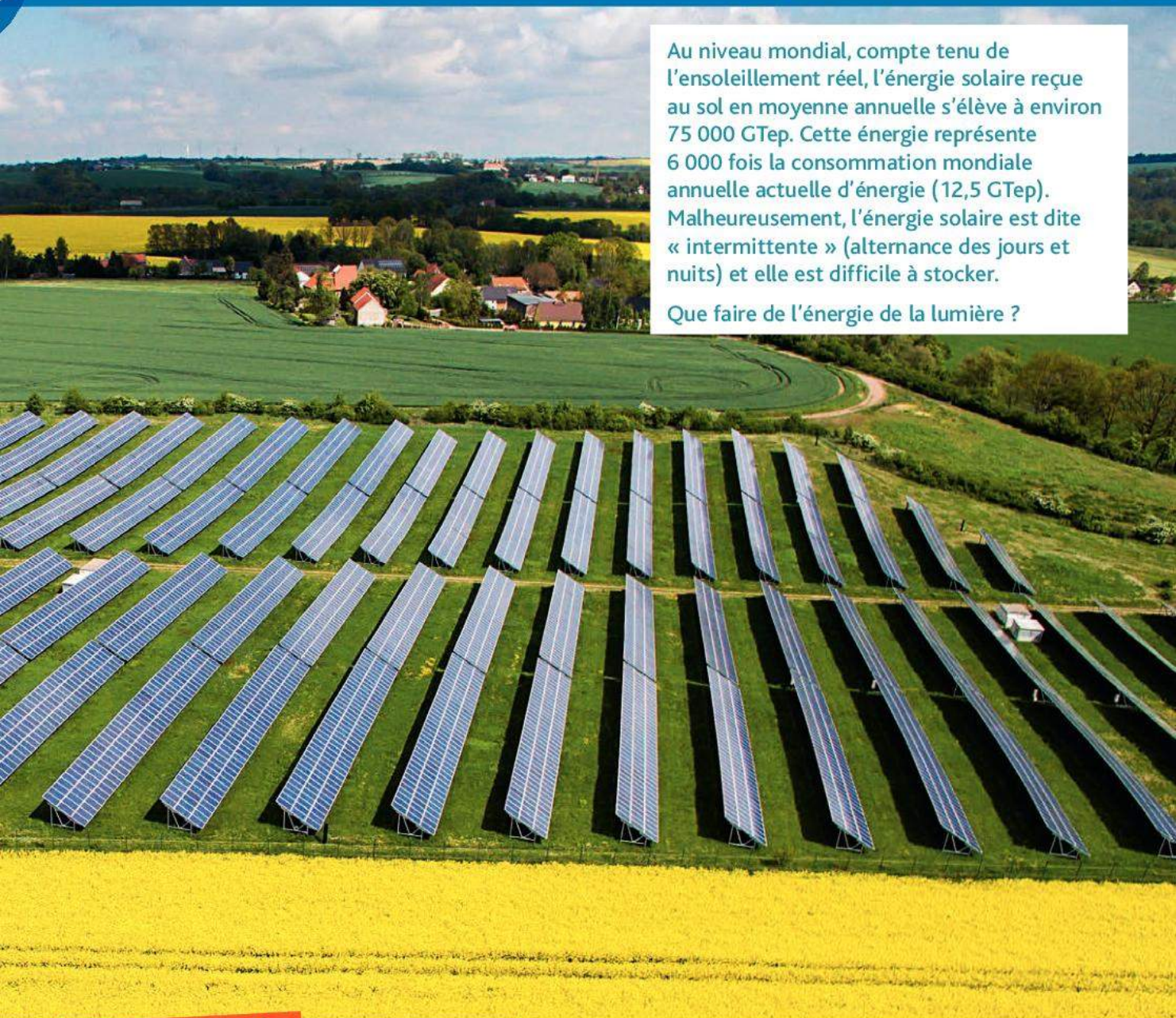


L'énergie solaire photovoltaïque (3 min 53)



Au niveau mondial, compte tenu de l'ensoleillement réel, l'énergie solaire reçue au sol en moyenne annuelle s'élève à environ 75 000 GTep. Cette énergie représente 6 000 fois la consommation mondiale annuelle actuelle d'énergie (12,5 GTep). Malheureusement, l'énergie solaire est dite « intermittente » (alternance des jours et nuits) et elle est difficile à stocker.

Que faire de l'énergie de la lumière ?



Liens avec les maths

- Tracé et exploitation de courbes. **Exercices** 13 17 18
- Calculs mathématiques simples. **Activités** 1 3

Activités



- 1 La conversion de l'énergie solaire, comment ça marche ?
- 2 Le solaire dans votre habitation
- 3 Variation du rendement d'un panneau photovoltaïque
- 4 Comment fonctionne une douche solaire ?

documentaire

documentaire

expérimentale

expérimentale

La conversion de l'énergie solaire, comment ça marche ?

Capacité

Interpréter les échanges d'énergie entre la matière et la lumière à l'aide de la notion de photon.

Objectif

Déterminer les principales différences entre les panneaux solaires.

Un panneau solaire est aussi désigné sous le nom de capteur solaire. Un panneau solaire est un dispositif technologique qui sert à récupérer une partie du rayonnement solaire et le convertir en énergie utilisable. On distingue deux types de panneaux solaires, le panneau solaire photovoltaïque qui convertit la lumière en électricité, et le panneau solaire thermique qui convertit la lumière en chaleur.

**DOC. 1 Le panneau solaire photovoltaïque.**

Un panneau solaire photovoltaïque est constitué de modules photovoltaïques rassemblés et câblés en série ou en parallèle. Ils sont aussi appelés cellules photovoltaïques et convertissent la lumière en électricité continue. Afin de pouvoir revendre l'électricité, ou de s'en servir pour les appareils domestiques, il faut associer aux modules un onduleur qui convertira la tension électrique continue en une tension électrique alternative.

Un panneau solaire photovoltaïque est constitué de modules photovoltaïques rassemblés et câblés en série ou en parallèle. Ils sont aussi appelés cellules photovoltaïques et convertissent la lumière en électricité continue. Afin de pouvoir revendre l'électricité, ou de s'en servir pour les appareils domestiques, il faut associer aux modules un onduleur qui convertira la tension électrique continue en une tension électrique alternative.

DOC. 2 Le panneau solaire thermique.

Les panneaux solaires thermiques convertissent la lumière en chaleur. Ils sont principalement utilisés pour la fabrication de l'eau chaude sanitaire *via* un ballon solaire, et pour le chauffage.

**DOC. 3 Le panneau solaire hybride.**

La technologie DualSun permet une double production d'énergie à la fois sous forme d'électricité et de chaleur, *via* un seul panneau solaire, sans augmentation de taille par rapport à un panneau photovoltaïque standard. En fonctionnement, un panneau photovoltaïque standard produit 80 % de chaleur et seulement 20 % d'électricité. Cette chaleur, en plus d'être perdue, est néfaste pour le rendement du panneau qui chute lorsque celui-ci monte en température. Grâce à son échangeur thermique innovant, le panneau solaire hybride est constamment refroidi, ce qui lui permet de produire plus d'électricité qu'un panneau photovoltaïque standard.

**DÉMARCHE SCIENTIFIQUE**

1 » **Analyser** Indiquer le type d'énergie commune à l'entrée des trois panneaux solaires.

3 » **S'approprier** Quelle est la fonction réalisée par l'onduleur ?

2 » **Analyser** Indiquer les types d'énergie en sortie des trois panneaux solaires.

4 » **Analyser** Quel dispositif permet la fabrication d'eau chaude ?

Conclusion

Expliquer en quoi l'apparition des panneaux solaires hybrides Dualsun révolutionne le monde de l'énergie verte.

Le solaire dans votre habitation

Pour l'enseignant
Grille d'auto-évaluation

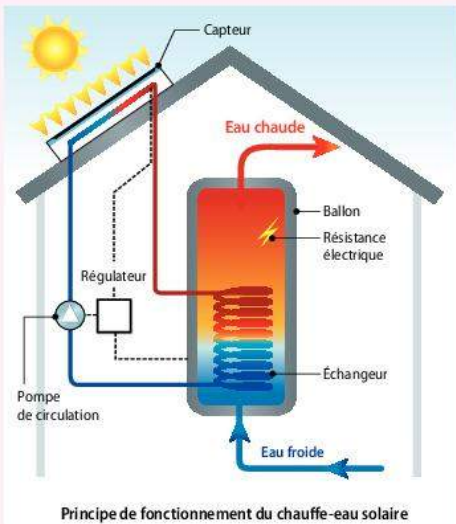
Capacité Interpréter les échanges d'énergie entre la matière et la lumière à l'aide de la notion de photon.

Objectif Déterminer le type et le nombre de panneaux solaires à installer pour une utilisation domestique.

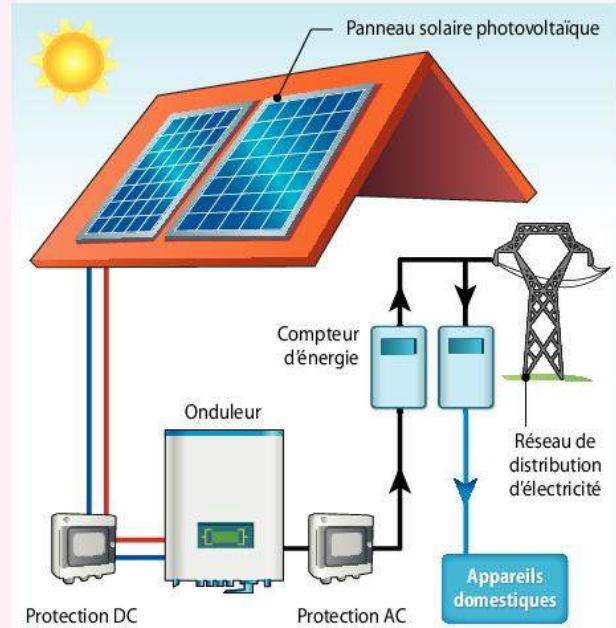


La consommation moyenne d'une maison chauffée à l'électricité est de 18 100 kWh. Pour faire des économies, utilisons l'énergie solaire !

DOC. 1 Utilisation du panneau solaire thermique.



DOC. 2 Utilisation du panneau solaire photovoltaïque



DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

- 1 » **S'approprier** Pourquoi avoir ajouté une résistance électrique dans le ballon (doc. 1) ?
- 2 » **Analyser • Communiquer** Quel est l'intérêt de mettre une pompe de circulation du fluide caloporteur couplée à un régulateur (doc. 1) ?
- 3 » **S'approprier • Analyser** Combien y a-t-il de circuits d'eau (doc. 1) ?
- 4 » **Analyser** Quelle est la nature de l'énergie électrique en sortie du panneau (doc. 1) ?
- 5 » **Analyser** Quelle est la nature de l'énergie électrique lors de l'utilisation domestique (doc. 2) ?
- 6 » **Analyser • Communiquer** Quel est le rôle de l'onduleur (doc. 2) ?
- 7 » **Analyser • Communiquer** Pourquoi y a-t-il deux compteurs d'énergie sur l'installation (doc. 2) ?
- 8 » **Réaliser** Sachant que le prix moyen du kWh est de 0,154 €, calculer le prix à payer pour une consommation annuelle moyenne.

Conclusion

Si on décide d'installer 10 panneaux photovoltaïques produisant chacun en moyenne 200 W pendant 5 heures par jour, ainsi qu'un panneau solaire thermique d'une puissance journalière moyenne de 600 Wh, quelles seront les économies réalisées ?

3 ACTIVITÉ Variation du rendement d'un panneau photovoltaïque



Capacité Exploiter les caractéristiques tension-courant d'un panneau photovoltaïque pour identifier son point de fonctionnement.

Objectif du TP Comparer le rendement d'un panneau solaire photovoltaïque entre deux éclairagements différents.

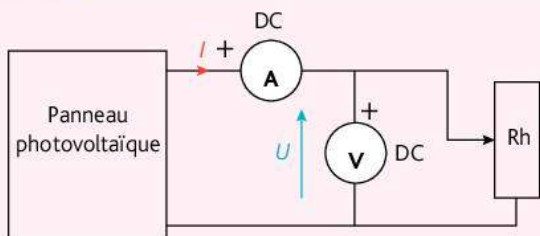
Où installeriez-vous des panneaux solaires chez vous ? Que peut-on dire du fonctionnement d'un panneau solaire installé dans le nord de l'Europe, par rapport à un panneau installé au sud de l'Europe ?



ÉTAPE 1 Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

1. De quoi est constitué le panneau solaire photovoltaïque ?
2. Indiquer les types d'énergie à l'entrée et à la sortie d'un panneau photovoltaïque.
3. Réaliser le montage pour un éclairage maximal, puis relever dans un tableau les différentes valeurs de U et I en faisant varier la valeur du rhéostat.

DOC. Schéma de l'installation.



4. Tracer la caractéristique $I = f(U)$.
5. À partir de la caractéristique, déterminer la tension à vide et le courant de court-circuit du panneau photovoltaïque.
6. Refaire la manipulation avec un éclairage deux fois plus faible, puis tracer la nouvelle caractéristique sur le même graphe.

ÉTAPE 2 Puissance d'une cellule photovoltaïque

1. Calculer la puissance électrique délivrée par le panneau solaire photovoltaïque pour les deux relevés de mesures (éclairage maximum et éclairage deux fois plus faible).
2. Tracer les deux caractéristiques $P = f(U)$ sur le même graphe.
3. Dans quelle zone de cette caractéristique la puissance fournie est-elle maximale ?
4. Quelle est l'influence de l'inclinaison de la cellule photovoltaïque sur la puissance fournie ?

Aide

$$P = U \cdot I.$$

Liens avec les maths

Surface d'un rectangle : longueur \times largeur.
Attention aux unités !

Conclusion du TP

Dans les deux cas, déterminer le rendement du panneau solaire photovoltaïque.

Comment fonctionne une douche solaire ?



Capacités

- Déterminer les échanges thermiques entre le rayonnement solaire et la quantité de chaleur absorbée par l'eau.
- Identifier les formes d'énergie mises en jeu dans une conversion photovoltaïque et une conversion photo-thermique.

Objectif du TP

Comprendre le principe d'absorption de l'énergie lumineuse par un corps noir.

Les douches solaires fonctionnent comme toutes les douches, mais elles ont l'avantage de fournir de l'eau chaude chauffée grâce aux rayons du soleil. Elles utilisent donc une énergie propre et inépuisable.



ÉTAPE 1 Protocole

1. Remplir d'eau les deux bouteilles plastiques (elles doivent avoir la même contenance).
2. Relever la température initiale de l'eau de chaque bouteille (on doit avoir la même température au début de l'expérience).
3. Placer les deux bouteilles face à la lampe halogène. Attention, la lampe halogène doit être située à 1 mètre au moins des bouteilles.
4. Pendant que l'expérience se déroule, répondez aux questions suivantes :
 - à votre avis, dans quel cas la température de l'eau sera-t-elle la plus élevée ?
 - comment faut-il envisager de construire un panneau solaire thermique ?
5. Après une exposition d'une durée de 20 minutes, relever à nouveau la température dans les deux bouteilles.

MATÉRIEL

- 2 bouteilles d'eau (1 transparente et 1 peinte en noir).
- 2 thermomètres.
- Lampe halogène 230 V – 500 W.
- Un solarimètre.
- 1 chronomètre.

Remarque

L'expérience peut également se faire en extérieur un jour de grand beau temps, mais il ne faut pas qu'il y ait de vent.



ÉTAPE 2 Exploitation des mesures réalisées

1. Calculer l'énergie lumineuse reçue par la bouteille (dans le cas le plus favorable) avec la formule :

$$E = E_{\text{éclairage}} \cdot S \cdot \Delta t$$

(on rappelle que l'éclairement se mesure au solarimètre).

2. Calculer l'énergie calorifique reçue par la bouteille :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta \theta$$

(avec $c = 4\,180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$).

3. Déterminer dans ce cas, le rendement du transfert thermique.
4. Proposer une solution technique qui permettrait d'améliorer encore le rendement.

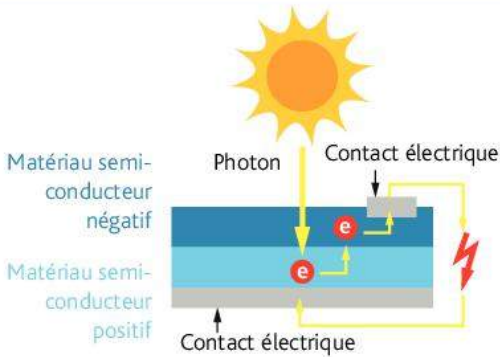
Conclusion du TP

Les douches solaires sont peintes en noir afin d'absorber un maximum de chaleur, de plus leur efficacité est augmentée lorsqu'elles sont posées à plat à l'abri du vent. Cela permet aux rayons du Soleil d'arriver avec un angle proche de 90° , et on limite les déperditions de chaleur s'il n'y a pas de vent.

A L'énergie solaire fournie par le photon

COURS

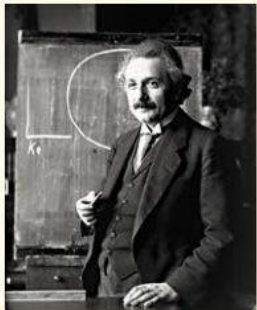
- Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque s'interprète avec le modèle **corpusculaire** de la lumière : le **photon**.
- Dans un semi-conducteur exposé à la lumière, un photon d'énergie suffisante **arrache** un électron qui participe à la **conduction** de l'électricité.



- **Max Planck**, en 1900, émet l'hypothèse que les ondes électromagnétiques transportent de l'énergie par **paquets**, sous forme de particules.



- **Albert Einstein**, en 1905, assimile ces particules de masse nulle, non chargées, qui se déplacent à la vitesse de la lumière, à des **photons**.



- À une onde électromagnétique de fréquence f sont associés des photons qui transportent chacun une énergie E , donnée par la relation :

$$\Delta E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Avec : ΔE : énergie transportée par un photon en joules [J].

f : fréquence de l'onde en hertz [Hz].

c : célérité de l'onde en mètres par secondes [$m \cdot s^{-1}$].

λ : Longueur d'onde en mètres [m].

$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ (constante de Planck).

- On utilise parfois l'électronvolt comme unité d'énergie : $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

INFOS FLASH

L'énergie du photon : tout est question de couleur !

Le photon a une énergie qui dépend de la longueur d'onde λ de l'onde électromagnétique. Pour le rouge (800nm), l'énergie associée à un photon est 1,6 eV. Pour le violet (400 nm), l'énergie associée à un photon est 3,1 eV.

Rappel

Pour qu'un électron soit arraché à un atome de silicium, il faut que l'énergie du photon dépasse la valeur $E_g = 1,12 \text{ eV}$, appelée GAP. Le GAP est l'énergie nécessaire pour faire passer un électron de la bande de valence à la bande de conduction.

B Conversion thermique de l'énergie solaire

COURS

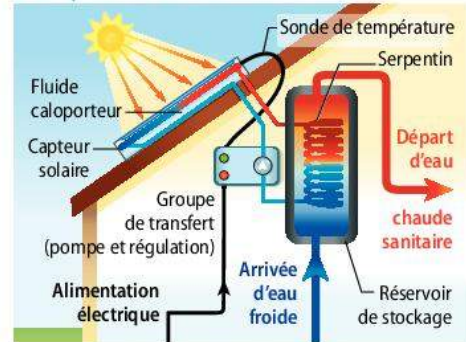
1 Le panneau solaire thermique

- Le panneau solaire **thermique** comporte une plaque de verre qui piège l'énergie rayonnante du Soleil par effet de corps noir et chauffe un fluide caloporteur qui circule dans un absorbeur, peint en noir (généralement de l'eau avec un antigel).

- On distingue deux circuits :

- un circuit **fermé** dans lequel circule le fluide caloporteur, comportant le capteur et un serpentin placé dans un réservoir de stockage qui échange de la chaleur avec l'eau de ce réservoir de stockage ;
- un circuit **ouvert**, comportant le réservoir de stockage, qui fournira l'eau chaude sanitaire.

Exemple : Un circuit ouvert



Exemple : Un circuit fermé



2 Le transfert thermique

- L'énergie solaire E_{solaire} reçue est toujours supérieure à l'énergie thermique Q_{fournie} .

$$E_{\text{solaire reçue}} = Q_{\text{fournie}} + E_{\text{perdue}}$$

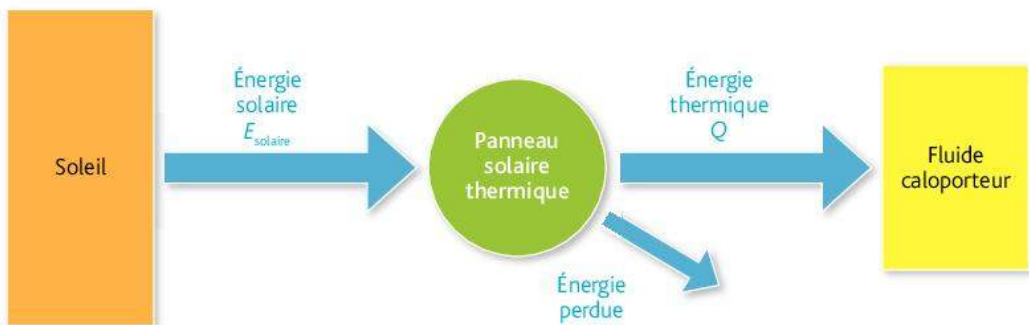
- Le **rendement**, noté η , est donné par la relation :

$$\eta = \frac{Q_{\text{fournie}}}{E_{\text{solaire}}}$$

avec $0 \leq \eta \leq 1$.

INFOS FLASH

En 2018, la France était placée au 6^e rang européen et au 18^e rang mondial en matière de production de chaleur d'origine solaire.

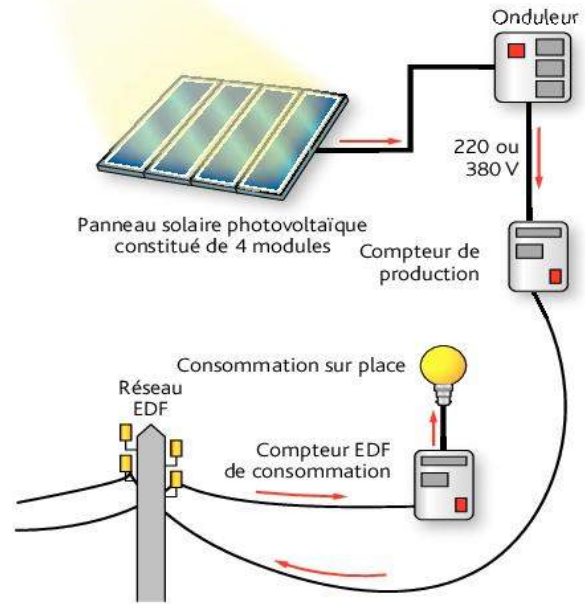


C Conversion électrique de l'énergie solaire

COURS

1 Le panneau solaire photovoltaïque

- La **conversion électrique de l'énergie solaire** est réalisée par les cellules photovoltaïques du panneau.
- La **puissance crête** correspond à la puissance maximale électrique délivrée par le panneau solaire photovoltaïque sous un ensoleillement optimal de $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ à 25 °C .
- La tension délivrée est continue, ce qui nécessite l'utilisation d'un onduleur (conversion continu/alternatif) afin d'injecter le courant dans le réseau de distribution.
- Un panneau est constitué de plusieurs modules qui comportent des **cellules photovoltaïques reliées entre elles**, en série et en parallèle. Chaque cellule délivre une tension de $0,5\text{ V}$ à $0,6\text{ V}$ et peut fournir un courant de l'ordre de 500 mA .



2 Les transferts énergétiques

- La **conversion électrique** de l'énergie solaire est réalisée par les cellules photovoltaïques du panneau.



3 Caractéristique intensité-tension

- La caractéristique $I = f(U)$ dépend de la **puissance lumineuse reçue**.
- Un panneau solaire photovoltaïque se comporte comme un **générateur de courant** (partie horizontale de la caractéristique).
- La **puissance maximale** est obtenue lorsque le panneau fonctionne « dans le coude » de la caractéristique.

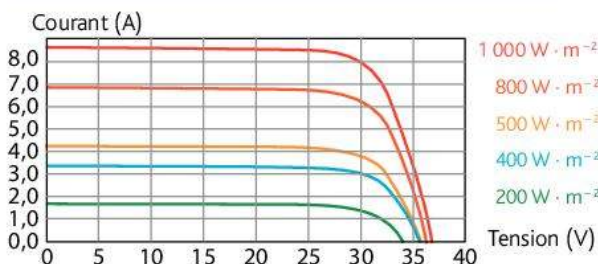
- La **tension à vide** U_0 correspond à la tension en sortie du panneau lorsque $I = 0\text{ A}$.
- Le **courant de court-circuit** s'obtient lorsque la tension $U = 0\text{ V}$, en mathématiques cela s'appelle l'ordonnée à l'origine.
- Le **rendement** (de l'ordre de 15%) d'un panneau photovoltaïque s'exprime par la relation :

$$\eta = \frac{P_c}{P_L}$$

Avec η : rendement.

P_c : puissance électrique crête (en W).

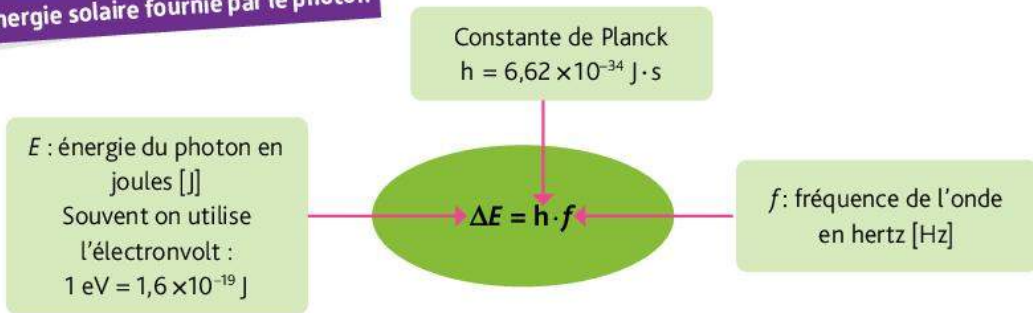
P_L : puissance lumineuse reçue par le panneau photovoltaïque (en W).



Caractéristiques courant/tension en fonction de l'éclairement et de la température du module

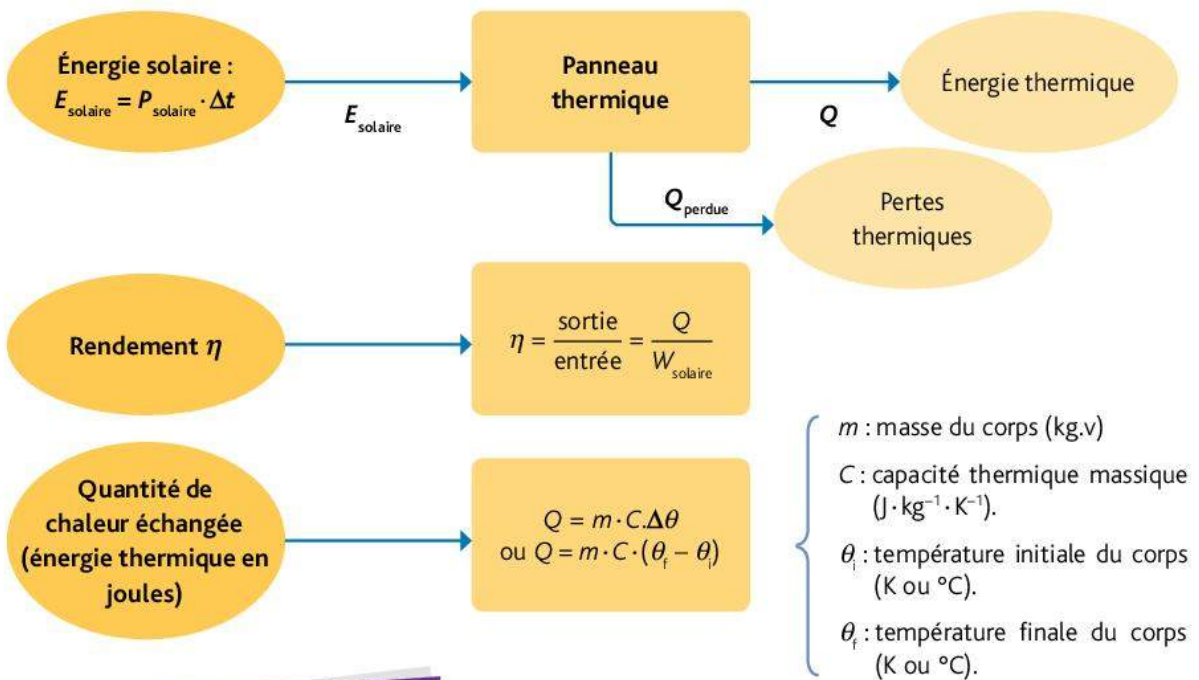
L'essentiel

A. L'énergie solaire fournie par le photon

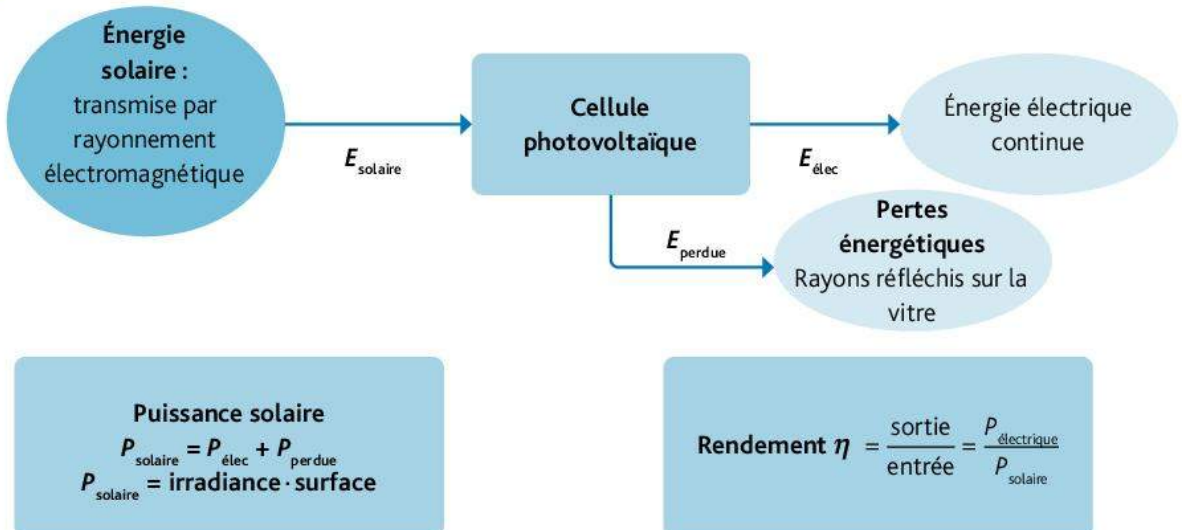


Comment mesurer l'irradiance (ou éclairement énergétique) ? → Un solarimètre

B. Conversion thermique de l'énergie solaire



C. Conversion électrique de l'énergie solaire



Questions flash  Pour chaque question, trouver la ou les bonne(s) réponse(s).



CORRIGÉS p. 300-304

- 1** Un panneau solaire thermique transforme l'énergie solaire en...
- énergie électrique.
 - énergie thermique.
 - énergie mécanique.

- 2** Un panneau solaire photovoltaïque convertit l'énergie solaire en énergie électrique...
- alternative.
 - continue.
 - permanente.

- 3** L'onduleur est un convertisseur d'énergie électrique nécessaire pour...
- utiliser l'électricité produite sur le réseau.
 - recharger des batteries.
 - sécuriser l'installation photovoltaïque.

- 4** Dans un panneau solaire thermique, le fluide caloporteur sert à...
- produire de l'électricité.
 - refroidir le panneau.
 - effectuer le transfert thermique vers l'eau chaude sanitaire.

- 5** Le rendement d'un panneau solaire photovoltaïque est donné par la relation...
- $\eta = \frac{P_C}{P_L}$.
 - $\eta = P_C \cdot P_L$.
 - $\eta = \frac{P_L}{P_C}$.

- 6** L'énergie du photon est donnée par la relation...
- $E = \frac{h}{f}$.
 - $E = h \cdot f$.
 - $E = \frac{f}{h}$.

- 7** L'unité de l'énergie est toujours...
- l'électronvolt [eV].
 - le watt [W].
 - le joule [J].

Vrai ou Faux ? Pour chaque proposition, déterminer si elle est vraie ou fausse.

- L'énergie solaire ne peut pas être convertie en une autre forme d'énergie.
- Le photon est une particule sans énergie.
- Un panneau solaire thermique fournit de la chaleur.
- Un panneau solaire photovoltaïque fournit de l'énergie électrique alternative.
- L'onduleur est un convertisseur d'énergie électrique continue en énergie électrique alternative.
- Le rendement d'une installation est toujours compris entre 0 et 1.

A L'énergie solaire fournie par le photon

1 L'énergie du photon

Pour le silicium, l'énergie du photon nécessaire pour faire passer un électron dans la bande de conduction est de 1,12 eV.

- Déterminer l'énergie du photon en joules [J].
- Sachant que la constante de Planck est $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, déterminer la valeur de la fréquence de la radiation lumineuse.
- En déduire la longueur d'onde de la radiation lumineuse.

2 L'énergie du photon en fonction de la couleur

Les rayonnements UV et visibles (essentiellement vert et bleu) fournis par le Soleil ont une énergie suffisante pour permettre à une cellule photovoltaïque de produire du courant.

- À partir de quelles longueurs d'onde parle-t-on de rayonnement UV ?
- Quelles sont les fréquences des photons associés à une lumière bleue ($\lambda = 450 \text{ nm}$) et de ceux associés à une lumière verte ($\lambda = 500 \text{ nm}$) ?
- Calculer en joules, puis en électronvolts, les énergies des photons associés aux deux couleurs précédentes.

Données

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}; h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s};$$

$$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

B Conversion thermique de l'énergie solaire

3 Panneau solaire thermique

Sur le toit de sa maison, M. Eco a placé des panneaux solaires thermiques pour la production d'eau chaude.



- Quel type d'énergie est reçu par les panneaux ?
- Quel type d'énergie est fourni par les panneaux ?
- Faire le bilan énergétique des panneaux solaires thermiques.

4 Le soleil, ça chauffe !

Un panneau solaire photovoltaïque de dimensions 350 mm par 250 mm est éclairé par une irradiance de $1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Déterminer la puissance lumineuse reçue par ce panneau.

C Conversion électrique de l'énergie solaire

5 Un panneau source de courant

Un panneau solaire photovoltaïque a une puissance crête de 300 W, soit un éclairement de $1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Sachant que la tension délivrée à ses bornes est de 24 V, déterminer le courant I fourni par le panneau.

6 Surface d'un panneau

Soit un panneau photovoltaïque dont le rendement est de 10 %. Il reçoit une puissance de rayonnement de $1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

- Quelle est la puissance lumineuse reçue par m^2 ?
- En déduire la puissance électrique produite par m^2 .

7 Puissance et énergie fournies par un panneau

Une maison dispose de 4 panneaux solaires photovoltaïques d'une puissance de 150 W chacun. Ils sont éclairés en moyenne 7 h par jour pendant 180 jours par an.

- Quelle est la puissance totale maximale délivrée par les 4 panneaux ?
- En déduire l'énergie électrique moyenne (en kWh) fournie par an.

8 Dimensionnement d'un refuge

Pour ces besoins électriques, un refuge de montagne a besoin d'une puissance de 300 W sous une tension de 12 V. On dispose pour cela de panneaux photovoltaïques d'une puissance de 100 W sous une tension de 12 V.



Combien faut-il de panneaux, et comment doit-on les brancher ?



9 Consommation d'un lave-linge et panneaux photovoltaïques

Le lave-linge d'une installation familiale est utilisé 48 semaines dans l'année, à raison de 4 cycles par semaine. Pour chaque cycle, il consomme 1 kWh.

1. Calculer l'énergie consommée annuellement par cet appareil.
2. La consommation totale d'énergie électrique du ménage est égale à 4 400 kWh par an. Les panneaux solaires photovoltaïques fournissent en moyenne 60 kWh par an et par mètre carré.
 - a. Quelle surface minimale (en m²) de panneaux solaires faudrait-il installer sur la toiture de cette habitation pour produire l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement annuel du lave-linge ?
 - b. Même question pour toute l'installation de la maison.



RÉSOLUTION DÉTAILLÉE

1 Consommation annuelle du lave-linge : $E = P.t$.

Application numérique : $E = 48 \times 4 \times 1 = 192 \text{ kWh.an}^{-1}$.

2 a. Pour produire l'énergie nécessaire au fonctionnement annuel du lave-linge, il faudrait une surface de panneaux photovoltaïques de : $S = \frac{192}{60} = 3,2 \text{ m}^2$.

b. Pour produire l'énergie nécessaire au fonctionnement de toute l'installation, il faudrait :

$$S = \frac{4\,400}{60} = 73 \text{ m}^2.$$

À vous de jouer

10 Consommation d'une box Internet

Les box Internet ont une puissance moyenne de 15 W et fonctionnent 24 heures par jour.

1. Calculer l'énergie consommée annuellement par cet appareil.
2. La consommation totale d'énergie électrique du ménage est égale à 4 400 kWh par an. Les panneaux solaires photovoltaïques fournissent en moyenne 60 kWh par an et par mètre carré.
 - a. Quelle surface minimale (en m²) de panneaux solaires faudrait-il installer sur la toiture de cette habitation pour produire l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement annuel de la box ?
 - b. Même question pour toute l'installation de la maison.





11 Radiation solaire moyenne en Europe

» S'approprier • Analyser • Réaliser

Une habitation consomme une énergie électrique moyenne annuelle de 6 MWh.

On souhaite installer des panneaux solaires de rendement 10 % sur le toit afin de fournir la moitié de l'énergie électrique consommée. L'autre moitié continuera d'être fournie par le réseau électrique classique.

DOC. Irradiation globale horizontale.



Grâce à l'extrait de la carte d'Europe ci-dessus, calculer la surface nécessaire des panneaux à installer pour une habitation située à : Dublin ; Paris ; Lisbonne.

12 Chauffe-eau solaire

» S'approprier • Analyser • Réaliser

Un panneau solaire thermique est constitué de tubes peints en noir, placés derrière une vitre.



Un essai d'utilisation pendant une période ensoleillée a donné les résultats suivants :

- Débit de l'eau circulant dans le capteur : 20 L · h⁻¹.
- Température d'entrée de l'eau : 12 °C.
- Température de sortie de l'eau : 45 °C.
- Surface du panneau solaire thermique : 2,0 m².
- Irradiance pendant la période de l'essai : 800 W · m⁻².

1. Calculer la quantité de chaleur absorbée par l'eau circulant dans le panneau pendant une heure.
2. Calculer l'énergie solaire reçue en une heure par le panneau.
3. Déterminer le rendement du panneau solaire thermique.

Données

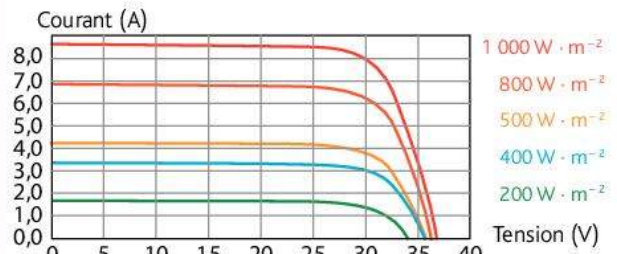
- Masse volumique de l'eau $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- Capacité calorifique de l'eau : $c = 4,2 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{J}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

13 Influence de l'ensoleillement

Application technologique

» S'approprier • Analyser • Communiquer

Les courbes caractéristiques $I = f(U)$ d'un panneau solaire photovoltaïque en fonction de l'éclairement sont données ci-dessous :



Caractéristiques courant/tension en fonction de l'éclairement et de la température du module

1. Pour un éclairement de 1 000 W · m⁻², donner les valeurs de courant de court-circuit, ainsi que la tension à vide.
2. Dans quelle partie de la caractéristique obtient-on la puissance crête (c'est-à-dire maximale) ? Déterminer sa valeur pour un éclairement de 1 000 W · m⁻².
3. Sachant que les dimensions du panneau sont : 1 640 mm × 992 mm, déterminer le rendement de ce panneau pour un éclairement de 1 000 W · m⁻².
4. Montrer que l'intensité maximale du courant est proportionnelle à la puissance surfacique reçue.
5. Donner le bilan énergétique d'un panneau photovoltaïque.



14 Plaque signalétique Application technologique

» S'approprier • Analyser • Réaliser

La plaque signalétique d'un panneau solaire est donnée pour un éclairement de $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, et pour un fonctionnement nominal (c'est-à-dire pour lequel on a le meilleur rendement).

Puissance max	300 Wc
Cellules	60 cellules solaires mono-cristallines full black, 156 x 156 mm
Tension en circuit ouvert (Voc)	39,9 V
Courant court-circuit (Isc)	9,8 A
Tension nominale (Vmpp)	32,7 V
Courant nominal (Impp)	9,18 A
Cadre	Aluminium anodisé
Verre	Verre trempé haute transparence - 3,2 mm
Dimensions	1640 x 992 x 40 mm
Poids	18,5 kg

- Rappeler la relation entre puissance, intensité et tension.
- Retrouver la valeur de la puissance maximale.
- Représenter l'allure de la caractéristique courant-tension en y faisant apparaître le courant de court-circuit ainsi que la tension à vide.
- Déterminer la surface du panneau en mètres carrés. Puis calculer la puissance lumineuse reçue.
- En déduire le rendement nominal de ce panneau solaire.

15 Estimation du nombre de cellules d'un panneau solaire photovoltaïque Maths

» S'approprier • Analyser • Réaliser

Un panneau solaire photovoltaïque a une puissance crête de 240 W sous un éclairement de $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. La tension à ses bornes est alors de 24 V et chaque cellule délivre une tension de 0,6 V et un courant de 500 mA.



Les cellules sont branchées en série et en dérivation. Chaque branche comporte le même nombre de cellules.

- Quel est le nombre de cellules dans une branche ?
- Quelle est l'intensité du courant débitée par le panneau ? En déduire le nombre de branches.

- Quel est le nombre total de cellules ?
- Chaque cellule est un carré de 3,5 cm de côté.
 - Quelle est la surface totale du panneau ?
 - Quel est son rendement énergétique ?

16 Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

» S'approprier • Analyser • Valider

Vous souhaitez vivre en autonomie complète dans votre chalet de montagne, pour cela vous devez dimensionner vos besoins électriques en fonction de vos choix de matériels.



Remarque : on ne s'intéressera pas au dimensionnement du parc de batteries.

Le chalet dispose de :

Appareil	Puissance	Durée d'utilisation journalière
Ordinateur	80 W	3 h
Frigo	120 W	7 h
6 lampes LED	4 W	3 h
Machine à laver	1 500 W	1 h 30
Cafetière	2 000 W	15 min

L'éclairement moyen annuel où se situe le chalet est de $800\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ pendant 7 heures, et vous disposez de panneaux solaires photovoltaïques de rendement 12 % et de dimensions 1,5 m x 0,9 m.

Parcours A

Déterminer le nombre de panneaux solaires qu'il faut pour être en autonomie électrique.

Parcours B

- Calculer l'énergie totale nécessaire au fonctionnement de tous les appareils.
- Déterminer l'énergie électrique délivrée par un panneau solaire photovoltaïque.
- En déduire le nombre de panneaux nécessaire.

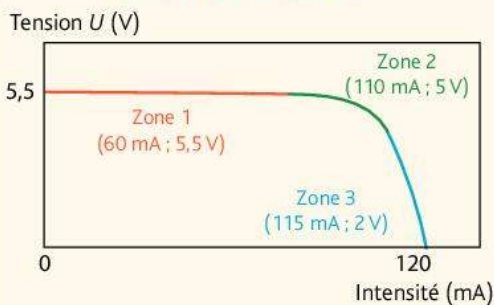
17 La coque solaire de téléphone portable

» S'approprier • Analyser • Réaliser • Valider

DOC. 1 Caractéristiques techniques d'une coque solaire pour smartphone (extrait).

- Équipée d'une batterie et d'un panneau solaire, cette coque rechargera facilement et rapidement votre appareil.
- Chargement possible du chargeur solaire par port USB.
- La coque permet également de protéger votre smartphone tout en vous permettant de continuer à prendre des photos ou d'avoir une conversation téléphonique !
- Recharge environ 60 à 65 % de la batterie de votre smartphone en 1 h 30 environ.
- Capacité de la batterie : 1600 mAh
- Sortie : 5 V/1 A
- Entrée : 5 V/800 mA
- Panneau solaire : 5,5 V/120 mA (valeur pour un éclairage maximum).

DOC. 2 Caractéristique tension-intensité $U = f(I)$ du panneau.



1. À partir des documents, préciser ce que représentent les indications 5,5 V/120 mA.
2. À partir de la caractéristique tension-intensité $U = f(I)$ du panneau solaire, préciser la zone où le panneau solaire se comporte comme un générateur de tension.
3. Dans quelle zone le panneau solaire fournit-il une puissance maximale P_{\max} ? Justifier la réponse et estimer la valeur de P_{\max} .
4. On souhaite se servir de la coque solaire pour recharger une tablette dont la batterie a les caractéristiques suivantes : entrée 10 V/120 mA. Proposer une solution afin de recharger la batterie de cette tablette.

Aide

On dispose de plusieurs coques solaires.

18 Production d'énergie électrique à bord de l'ISS

» S'approprier • Analyser • Réaliser • Valider



La production d'électricité à bord de l'ISS est assurée par l'utilisation de 8 panneaux solaires doubles appelés SAW (Solar Array Wing). Chaque SAW a une longueur de 33,5 m pour une largeur de 11,6 m. L'orientation par rapport au Soleil de ces panneaux est contrôlée en permanence de façon à optimiser la production d'énergie électrique. Chaque SAW comporte plusieurs milliers de cellules photovoltaïques et a un rendement moyen théorique η de conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique de 14,5 %.

1. Montrer que la surface totale S d'un SAW vaut environ 389 m².
2. Déterminer la puissance lumineuse théorique maximale P_{lmax} reçue par un panneau SAW.
3. En déduire la puissance électrique théorique maximale P_{emax} que pourrait générer un panneau SAW.

Données

Éclairement incident : 1 500 W · m⁻².

4. En réalité, la puissance électrique attendue pour chaque panneau par les ingénieurs est d'environ 31 kW. Déterminer la puissance électrique P_e attendue par les ingénieurs par les 8 SAW.
5. Déterminer la puissance électrique effective totale P_{tot} générée par l'ensemble des 8 panneaux SAW le 5 novembre 2017 à 21h45.

Identification du SAW	1B	3B	3A	1A	2A	4A	4B	2B	Total
Puissance électrique fournie (kW)	8,6	6,5	6,4	4,8	8,4	9,0	8,4	7,5	59,8

6. Montrer que les panneaux du SAW ne sont utilisés qu'à environ 24 % de leur possibilité le 5 novembre 2017 à 21h45.
7. Proposer une explication.
8. Au cours de chacune de ses orbites autour de la Terre qu'elle effectue en 90 minutes, la station orbitale passe 36 minutes dans l'ombre de la Terre. Comment selon vous la station orbitale fait-elle pour subvenir à ses besoins en énergie électrique durant ces 36 minutes ?

19 Les voiliers du Vendée Globe

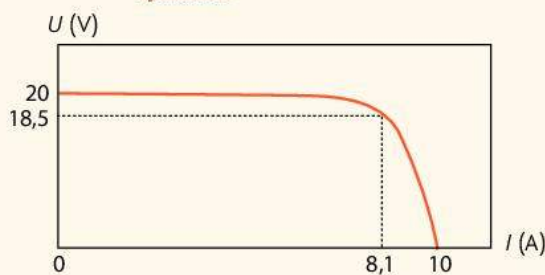


- Les voiliers de la classe IMOCA 60 (monocoques de 18 mètres) parcourent le monde lors de la course en solitaire du Vendée Globe.
- Tous disposent d'un moteur Diesel permettant de répondre aux besoins énergétiques du bord (pilote automatique, GPS, radar, ordinateur de bord, radio...). Ils sont également équipés d'au moins un système de production d'énergie alternatif tel que le panneau solaire photovoltaïque.



DOC. 1 Caractéristique tension-courant des panneaux utilisés pour un rayonnement de puissance

$$P_{\text{rayonnement}} = 1\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$$



DOC. 2 L'AIS.

Il s'agit d'un système de positionnement de bateau à bateau qui permet de connaître l'identité de chaque navire, sa route et sa vitesse. L'AIS est couplé à la VHF ainsi qu'aux instruments de bord. Il permet aux marins du Vendée Globe de repérer les autres navires qui se trouvent dans leur zone et de parer aux risques de collisions. Encore faut-il que les autres bateaux aient activé leur AIS. Par ailleurs, un système d'alarme peut être programmable par le skipper afin d'être averti en cas de risque de collision.

» Analyser • S'approprier • Réaliser • Valider

1. À partir de la caractéristique tension-courant, donner les valeurs de la tension à vide ainsi que du courant de court-circuit.
2. Sachant que les valeurs nominales correspondent au point de fonctionnement, déterminer la tension nominale, l'intensité nominale.
3. Calculer la puissance maximale P_{max} d'un panneau photovoltaïque pour les conditions de rayonnement indiquées.
4. La surface de ce panneau est $S = 0,556 \text{ m}^2$. Calculer la puissance reçue, notée $P_{\text{reçue}}$, dans les conditions de rayonnement indiquées.
5. En déduire le rendement η de ce panneau.
6. Faire le schéma du bilan de puissance du panneau photovoltaïque.
7. Indiquer de quelles natures sont les pertes pour un panneau photovoltaïque.

Donnée

La consommation en énergie électrique par jour à bord du voilier est estimée à $E_{\text{jour}} = 4,50 \text{ kWh}$.

8. En supposant que l'énergie produite par les panneaux correspond à un ensoleillement de 4 heures à $1\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, en déduire la surface de panneaux devant être installée sur le voilier.
9. Sachant que l'AIS est en fonctionnement 24/24h, et consomme en moyenne 3 W, déterminer sa consommation journalière.
10. En déduire la surface de panneau solaire nécessaire à son bon fonctionnement, en reprenant les hypothèses de la question 8.



Mini-projet d'application

Je suis en panne sur l'autoroute, puis-je demander de l'aide avec une de ces bornes à Strasbourg ? Et à Nice ?

DOC. 1 Description du constructeur.

Cette borne est totalement autonome : elle est alimentée par des panneaux solaires et fonctionne avec le réseau GSM. Son fonctionnement ne nécessite pas de câblage, ce qui évite de creuser des tranchées, et son installation peut se faire loin des réseaux (plage, chemins de randonnée). Elle peut également être utilisée en bordure d'une intersection routière dangereuse.

Un appui sur le bouton d'appel déclenche l'appel vers un numéro préprogrammé.

Alimentation : 12Vcc- 7mA en mode ghost
700 mA en phonie

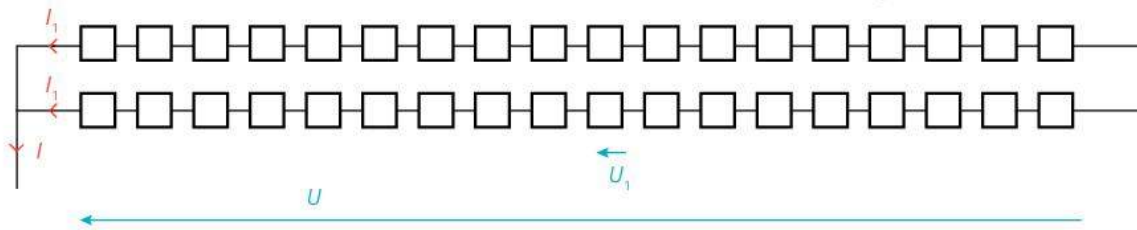
Cahier des charges à suivre

- Comprendre que l'éclairage est un paramètre majeur dans l'utilisation des panneaux photovoltaïques.
- Choisir un emplacement approprié pour l'utilisation des bornes d'appel solaires.



DOC. 2 Description du panneau photovoltaïque de la borne.

Le panneau photovoltaïque est composé par la mise en parallèle de 2 fois 18 cellules en série (voir schéma ci-dessous) dont la tension nominale est de $U = 0,67\text{V}$. La surface du panneau est de 246 cm^2 .



DOC. 3 Données.

$1\text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19}\text{ J}$;

puissance solaire surfacique à Strasbourg : $1,25 \times 10^3\text{ W/m}^2$;

puissance solaire surfacique à Nice : $2,20 \times 10^3\text{ W/m}^2$.

Astuce

Pour simplifier, on considère que seuls des photons de longueur d'onde $\lambda = 500\text{ nm}$ frappent le panneau photovoltaïque.

Vers le grand oral

Pensez aux applications possibles des panneaux solaires, dans la vie courante : jouets, éclairage extérieur, revente... Élargissez en parlant des différentes sources d'énergie vertes.

1. Calculer l'énergie d'un seul de ces photons en joules.

2. Calculer le nombre de photons de longueur d'onde $\lambda = 500\text{ nm}$ qui doivent frapper le panneau solaire par unité de temps (chaque seconde) pour que la puissance solaire reçue par ce panneau soit égale à 30 W .



Aide

$$1\text{ W} = 1\text{ J} \cdot \text{s}^{-1}.$$

3. Calculer la tension nominale U_{tot} aux bornes du panneau solaire. Est-elle bien celle attendue pour le fonctionnement de la borne ?

4. Que vaut l'intensité I que doit fournir le panneau pour effectuer un appel à partir de la borne ?

5. Montrer que la puissance électrique nominale produite par le panneau photovoltaïque vaut $P_e = 8,4\text{ W}$, lors d'un appel.

6. Sachant que le rendement du panneau solaire est de 16% , déterminer la puissance solaire P_s que doit recevoir le panneau photovoltaïque de 246 cm^2 .

7. Conclure sur la possibilité de passer un appel sur une borne à Strasbourg ou à Nice.

S'appropriier le projet avant de commencer

Les questions de 1 à 6 permettent de répondre à la problématique du projet, qui est la question 7.

Se préparer et réviser les acquis de 1^{re}

Pour l'enseignant

↓ Diaporama des questions flash

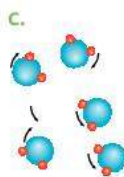
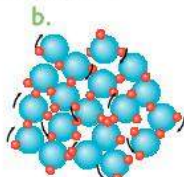
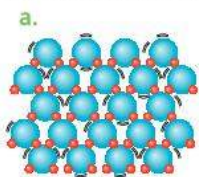
Questions flash



CORRIGÉS p. 300-304

Pour chaque question, trouver la ou les bonnes réponses.

1 Parmi les 3 schémas suivants, lequel modélise l'état gazeux de l'eau à l'échelle microscopique ?



2 Pour une espèce chimique quelconque, la relation entre la masse volumique ρ , sa masse m et son volume V est...

a. $\rho = \frac{m}{V}$. b. $\rho = \frac{V}{m}$. c. $m = \rho \cdot V$.

3 L'unité de la valeur d'une force est...

- a. le kilogramme (kg).
- b. le newton (N).
- c. le mètre carré (m²).

4 Un liquide...

- a. a une forme propre.
- b. prend la forme du récipient qui le contient.
- c. est constitué de molécules compactes et désordonnées.

5 La masse volumique de l'eau est égale à...

- a. 1 000 kg · m⁻³.
- b. 1,00 × 10³ kg · m⁻³.
- c. 1 000 g · m⁻³.

Capacités exigibles

- Mettre en évidence la relation entre la force pressante exercée sur une surface et la pression.

Activité 1

- Exploiter des informations pour mettre en évidence le lien entre pression et altitude.

Activité 2

- Mettre en œuvre un protocole pour mesurer une pression dans un fluide.

Activité 3

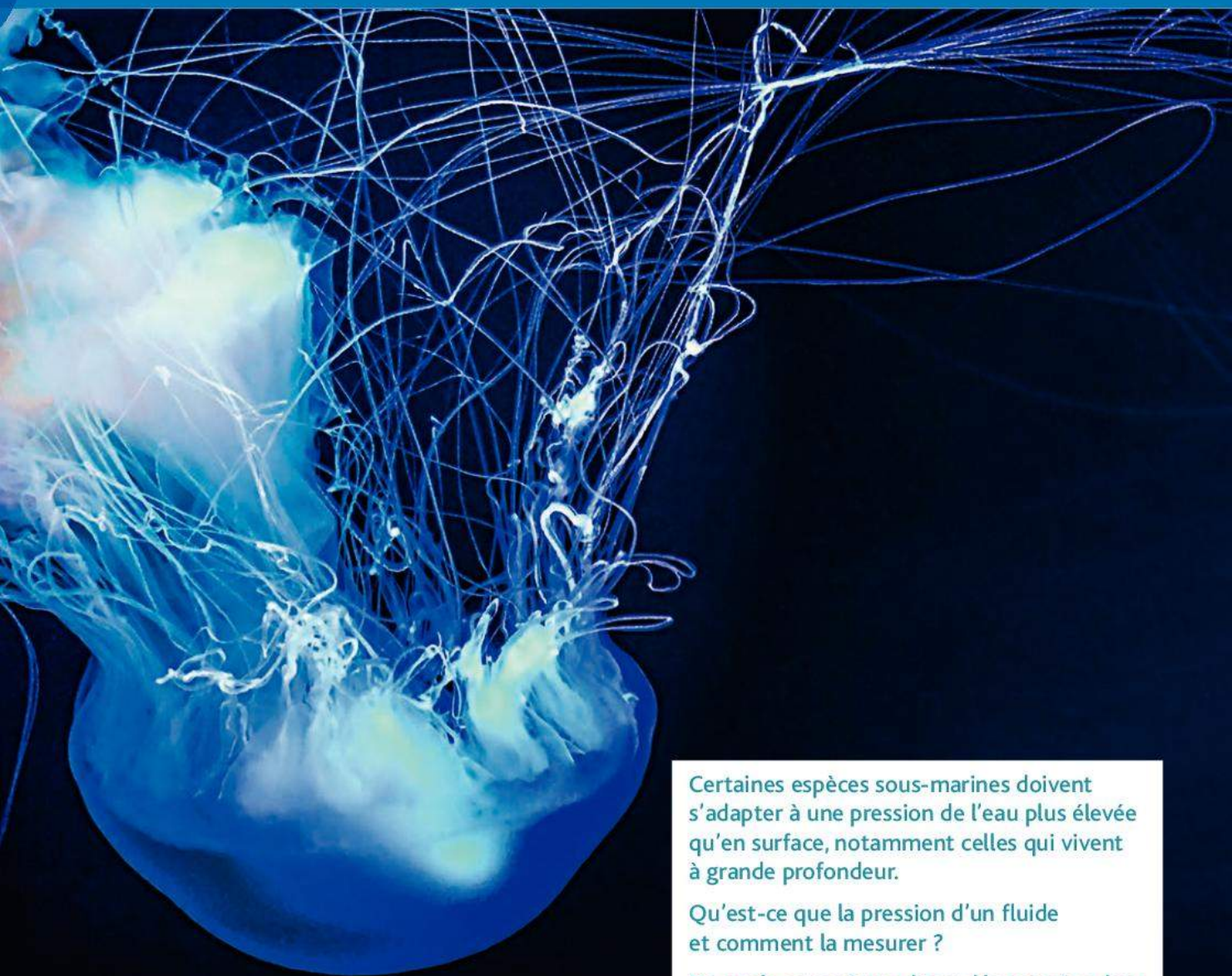
- Proposer un protocole.

Activité 4

La statique des fluides

Lien vidéo

Hémisphères de Magdebourg (2 min 32)



Certaines espèces sous-marines doivent s'adapter à une pression de l'eau plus élevée qu'en surface, notamment celles qui vivent à grande profondeur.

Qu'est-ce que la pression d'un fluide et comment la mesurer ?

De quels paramètres dépend la pression dans un fluide ?

Liens avec les maths

- Exploitation de courbes
- Manipuler une formule mathématique

Activités 1 3

Activités 3 4

Activités

- 1 Fort comme un fakir
- 2 Gravier des sommets
- 3 Pourquoi les barrages sont-ils plus épais à la base qu'à la surface ?
- 4 Utiliser la loi de la statique des fluides

documentaire

documentaire

expérimentale

expérimentale

1 Fort comme un fakir

ACTIVITÉ 1

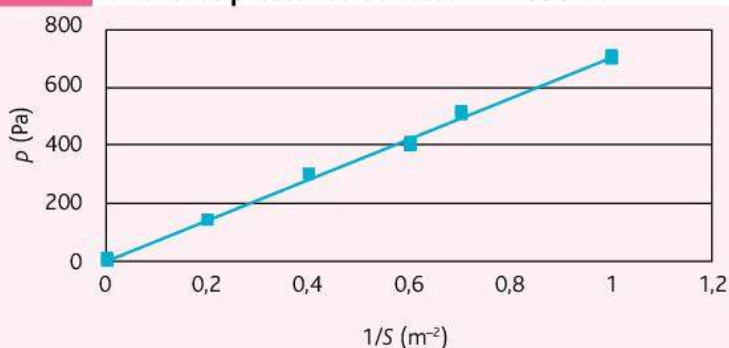
Capacité Mettre en évidence la relation entre la force pressante exercée sur une surface et la pression.

Objectif Quelle relation existe-t-il entre la pression et la surface d'appui ?

Le lit de clous, ou planche à clous, est une planche rectangulaire traversée de clous à intervalles réguliers. Les fakirs sont réputés pour ne pas ressentir la douleur lors d'une « méditation » sur cette planche, avec les clous en contact avec la peau.



DOC. 1 Représentation graphique de la pression en fonction de l'inverse de la surface $P = 1/S$ pour une force pressante de valeur $F = 690 \text{ N}$.



DOC. 2 Analyse baropodométrie.

Une plateforme baropodométrique permet de déterminer la pression exercée en chaque point du pied. La zone de plus forte pression (en rouge) est de 10 cm^2 environ.



DOC. 3 Seuil de la douleur.

La pression correspondant au seuil de la douleur au niveau du pied est environ égale à 3 MPa .
Rappel : $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$.

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 À l'aide du document 1 :

a. **» S'approprier** Justifier que les grandeurs P et $\frac{1}{S}$ sont proportionnelles.

b. **» Réaliser** Calculer la valeur du coefficient directeur et le comparer à la valeur de la force pressante F .

c. **» Analyser** En déduire une relation entre la pression P , la force pressante F et la surface S .

Appeler l'enseignant pour vérifier la réponse.

2 **» Valider** En utilisant les documents 2 et 3 :

a. Calculer la pression exercée par le pied du fakir soumis à une force pressante de 300 N . Le seuil de la douleur est-il atteint ?

b. Pour quelle surface minimale du pied en contact avec la planche le fakir ressentirait-il une douleur ?

Conclusion

Compléter la phrase suivante, pour répondre à la problématique :
« Plus la surface d'appui S est ... et plus la pression P est ... ».

2 Gravier des sommets

ACTIVITÉ

Capacité Exploiter des informations pour mettre en évidence le lien entre pression et altitude

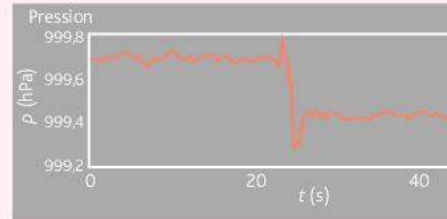
Objectif Pourquoi l'ascension des plus hauts sommets nécessite-t-elle une préparation physique particulière ?

Le Nanga Parbat est le neuvième plus haut sommet du monde (8 125 mètres), dans la chaîne de l'Himalaya. C'est la plus haute montagne entièrement située au Pakistan.



DOC. 1 Pression de l'air et smartphone.

Avec l'application Phypox (smartphone avec capteur de pression), il est possible de mesurer la variation de pression en fonction de la variation d'altitude. Ci-contre, un enregistrement obtenu pour une variation d'altitude de 2,1 m.



DOC. 2 Comment la pression de l'air évolue-t-elle en altitude ?



Altitude	Pression
3 000 m	701 hPa
2 000 m	795 hPa
1 000 m	899 hPa
0 m	1 013 hPa

DOC. 3 Pressions absolue et relative.

Une pression est relative lorsqu'elle est mesurée par rapport à la pression atmosphérique. Un manomètre indiquera donc 0 bar pour la pression de l'air.



DOC. 4 Le caisson hyperbare.

Le mal aigu des montagnes (ou MAM) est la conséquence du manque de dioxygène lié à la baisse de la pression en altitude. Il est caractérisé par un ensemble de troubles associant des maux de tête, des nausées voire des œdèmes. Pour y remédier, on peut utiliser un caisson hyperbare portable : à l'intérieur, une pression de 220 millibars, supérieure à la pression de l'air environnant, est créée grâce à une pompe. Cela correspond à une perte d'altitude d'environ 3 000 mètres, ce qui est largement suffisant pour faire disparaître les effets du MAM.

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **Réaliser** - **Analyser** Comment évolue la pression de l'air lorsque l'altitude augmente ? Appeler l'enseignant pour vérifier la réponse donnée.

2 » **S'approprier** L'évolution de la pression a-t-elle une influence sur l'organisme des alpinistes ? Quel nom donne-t-on aux troubles liés à l'altitude (doc. 4) ?

3 » **Analyser** Pourquoi utilise-t-on un caisson hyperbare en cas de troubles ? Pourquoi peut-on qualifier la pression à l'intérieur du caisson de pression relative (docs. 2 et 3) ?

4 » **Valider** Avant de se lancer à la conquête d'un haut sommet, certains alpinistes font un séjour dans un caisson hypobare. Que peut-on dire de la pression à l'intérieur de ce type de caisson ? Quel est alors son intérêt ?

Conclusion

En quoi l'évolution de la pression a-t-elle une influence sur l'organisme des alpinistes ?

Pourquoi les barrages sont-ils plus épais à la base qu'à la surface ?



1 h 30

Capacité

Mettre en œuvre un protocole pour mesurer une pression dans un fluide.

Objectif du TP

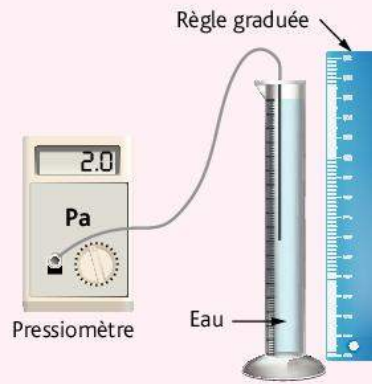
Mettre en œuvre un protocole pour comprendre pourquoi les barrages sont plus épais à la base qu'à la surface.

Le barrage des Trois-Gorges est un barrage situé au cœur de la Chine, sur le Yangzi Jiang. Il a été mis en production par étapes de 2006 à 2009 et a créé une retenue d'eau de 600 kilomètres de longueur. C'est la plus grande centrale hydroélectrique au monde.



DOC. 1 Protocole expérimental

- Mesurer la pression atmosphérique (air de la salle) P_{atm} .
- Remplir l'éprouvette graduée avec de l'eau jusqu'à la graduation 0 cm.
- Mesurer la pression P tous les 2 cm, à partir de la surface libre de l'eau.
- Présenter les résultats dans un tableau en exprimant la pression P en pascals (Pa) et la hauteur h en mètres (m).



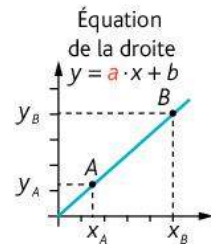
MATÉRIEL

- Éprouvette graduée de 500 mL.
- Pressiomètre muni d'un tube souple.
- Eau.
- Réglet ou grande règle graduée.

1. Mettre en œuvre le protocole expérimental (doc. 1).
2. Tracer la courbe $P = f(h)$ à l'aide d'un tableur grapheur et la modéliser selon une fonction affine.
 - a. Que représente la valeur de l'ordonnée à l'origine, notée P_0 ?
 - b. Calculer le coefficient directeur de la droite obtenue et le comparer au produit de la masse volumique et de l'intensité de pesanteur $\rho \cdot g$.
3. Établir une relation entre la pression P en un point du fluide, la pression P_0 à la surface du fluide et la profondeur h à laquelle est situé le capteur de pression.

Rappels mathématiques

- Calculer un coefficient directeur.



Coefficient directeur de la droite

$$a = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$$

pour $x_A \neq x_B$.

Conclusion du TP

- Calculer la pression à la base du barrage des Trois-Gorges, à 137 m de profondeur.
- Répondre à la problématique.

4 Utiliser la loi de la statique des fluides



1 h 30

ACTIVITÉ

Capacité Proposer un protocole.

Objectif du TP De quel paramètre dépend la variation de pression dans un fluide à une profondeur donnée ?

Dans l'eau, la pression augmente en profondeur de 1 bar environ tous les 10 m. En réalité elle augmente de 0,98 bar dans l'eau douce et de 1,007 bar dans l'eau de mer.



DOC. 1 Grandeurs macroscopiques de description d'un fluide

Pour décrire un fluide, plusieurs grandeurs macroscopiques peuvent être utilisées :

- sa masse volumique ρ en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$,
- sa pression P (en Pa ou en bar),
- sa température T (en $^{\circ}\text{C}$ ou en K).

MATÉRIEL

- Pressiomètre muni d'un tube souple.
- Éprouvette graduée de 250 mL.
- Différents fluides (huile, éthanol, glycérine...).
- Règle graduée.

DOC. 2 Loi de la statique des fluides

La différence de pression entre deux points A et B d'un fluide s'écrit :

$$\Delta P = P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot h$$

Avec :

- P_B et P_A : pressions aux points A et B (en Pa).
- h : différence d'altitude entre les points A et B (en m).
- ρ : masse volumique du fluide (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
- g : intensité de la pesanteur $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

1. À l'aide des documents proposés, déterminer le paramètre énoncé dans la problématique.
2. Selon vous, quel paramètre pourrait avoir une influence sur la variation de pression dans un fluide ?
3. Proposer un protocole expérimental permettant de calculer, à l'aide de plusieurs mesures, la valeur de ce paramètre pour deux liquides au choix.
📞 Appeler l'enseignant pour vérifier la réponse donnée.
4. Après validation du professeur, mettre en œuvre le protocole. Les résultats de vos calculs devront comporter un nombre judicieux de chiffres significatifs.

Mesure et incertitudes

Le résultat d'un calcul doit comporter autant de chiffres significatifs que la donnée qui en possède le moins.

Conclusion du TP

En analysant les résultats obtenus par les autres groupes pour d'autres liquides, conclure en rédigeant une phrase du type :

« Dans un fluide, plus sa ... est grande et plus la pression à une profondeur donnée sera ... ».

A Caractéristiques d'un fluide

COURS

- Un fluide n'a pas de forme propre, il prend la forme du récipient qui le contient. Un fluide est donc caractérisé principalement par les états liquide et gazeux. On distingue l'état liquide de l'état gazeux par le comportement des atomes ou molécules le composant.
- À l'**état liquide**, ces derniers sont proches les uns des autres et peuvent se déplacer : l'état liquide constitue un état compact et désordonné.
- À l'**état gazeux**, les atomes ou molécules sont animés de mouvements désordonnés et sont éloignés les uns des autres : l'état gazeux constitue un état désordonné et dispersé.



- Un fluide est décrit par des **grandeurs physiques macroscopiques** :
 - sa masse volumique ρ (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$),
 - sa température T (en $^{\circ}\text{C}$ ou en K)
 - sa pression P (en Pa ou bar).

Lien vidéo  Les états de l'eau (2 min 08) 

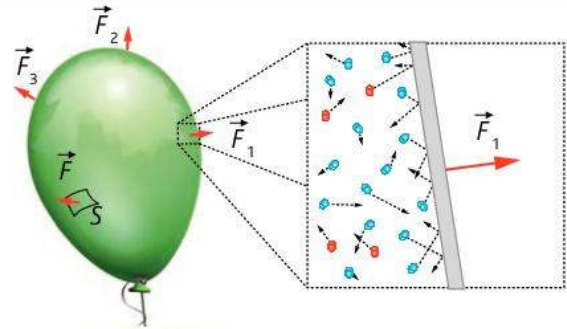
B Pression dans un fluide

COURS

1 Force pressante et pression

- Un fluide est constitué de **molécules en mouvement**. Elles subissent une multitude de chocs sur les parois qui sont à l'origine de forces pressantes.
 - La **force pressante** résultante qui s'exerce sur une surface S est :
 - perpendiculaire à la surface S ;
 - orientée du fluide vers la paroi ;
 - sa valeur F est donnée par :

$$P = \frac{F}{S} \text{ ou } F = P \cdot S$$
- avec
- P : pression du fluide en Pascal (Pa).
 - F : résultante des forces pressantes en Newton (N).
 - S : surface de la paroi en m^2 .



2 Mesurer une pression

- On utilise un **manomètre** (capteur de pression, pressiomètre). Un baromètre mesure la valeur de la pression atmosphérique.
- La pression de l'air est appelée « **pression atmosphérique** », elle dépend des conditions météorologiques et de l'altitude.



Exemple : Au niveau de la mer,
 $P_{\text{air}} = P_{\text{atm}} = 1013 \text{ hPa}$.

Lien vidéo  Le baromètre de Torricelli (8 min 52) 

- On distingue deux types de mesures de pression :

- **pression absolue** P_{abs} : pression par rapport au vide absolu ;
- **pression différentielle** P_{diff} : différence de pression entre deux points A et B d'un fluide.

$$P_{\text{diff}} = P_B - P_A$$

Exemples de pressions :

Air dans un pneu de VTT :

$$P_{\text{diff}} = P - P_{\text{atm}} = 2,5 \text{ bars.}$$



Pression atmosphérique à 2 000 m :

$$P_{\text{atm}} = 750 \text{ hPa soit } 0,75 \text{ bars.}$$



Air dans un ballon de football :

$$P_{\text{diff}} = P - P_{\text{atm}} = 1,6 \text{ à } 2,1 \text{ bars.}$$

Remarque

Dans le cas où le point A est en contact avec l'air, la pression différentielle est une pression par rapport à la pression atmosphérique.

On écrit alors $P_{\text{diff}} = P_B - P_A = P_B - P_{\text{atm}}$.

INFOS FLASH

La pression de l'air n'est plus que de 560 hPa au sommet du mont Blanc !

Principe fondamental de l'hydrostatique

- On dit qu'un fluide est **incompressible** lorsque sa masse volumique est constante.

Exemple : L'eau est quasiment incompressible. À 25 °C et une pression de 1,013 bar, sa masse volumique est égale à 1 000 kg·m⁻³. Il faudrait élever la pression jusqu'à 200 bars pour que sa masse volumique soit égale à 1 001 kg·m⁻³ !

- On considère un fluide immobile, uniquement soumis à son poids, caractérisé par sa masse volumique notée ρ .
- La **différence de pression** entre deux points A et B d'un fluide s'écrit :

$$P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot h$$

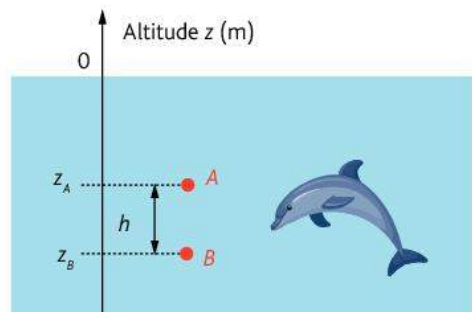
Avec :

- P_B et P_A : pressions aux points A et B (en Pa).
- h : différence d'altitude entre les points A et B (en m).
- ρ : masse volumique du fluide (en kg·m⁻³). Pour l'eau : $\rho = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
- g : intensité de la pesanteur $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Exemple : Dans le cas où A est un point de la surface, on a $P_A = P_{\text{atm}} = 1\,013 \text{ hPa}$.



Un robot sous-marin, en explorant les abysses, doit être capable de résister à d'importantes pressions.

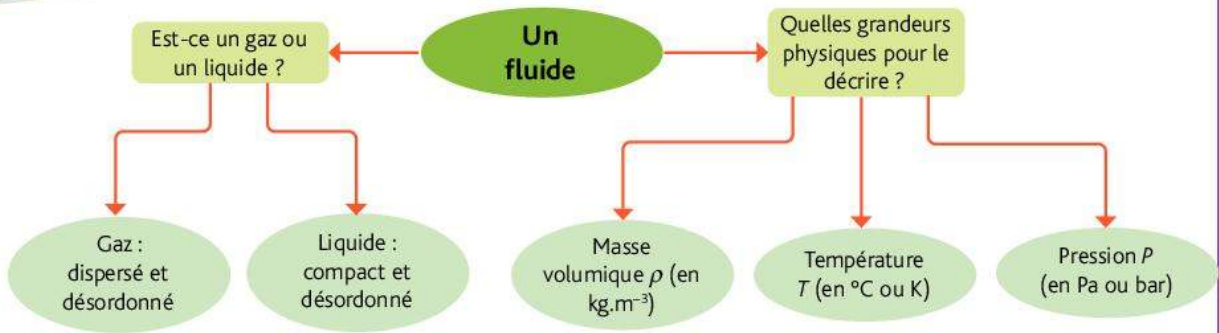


Remarque

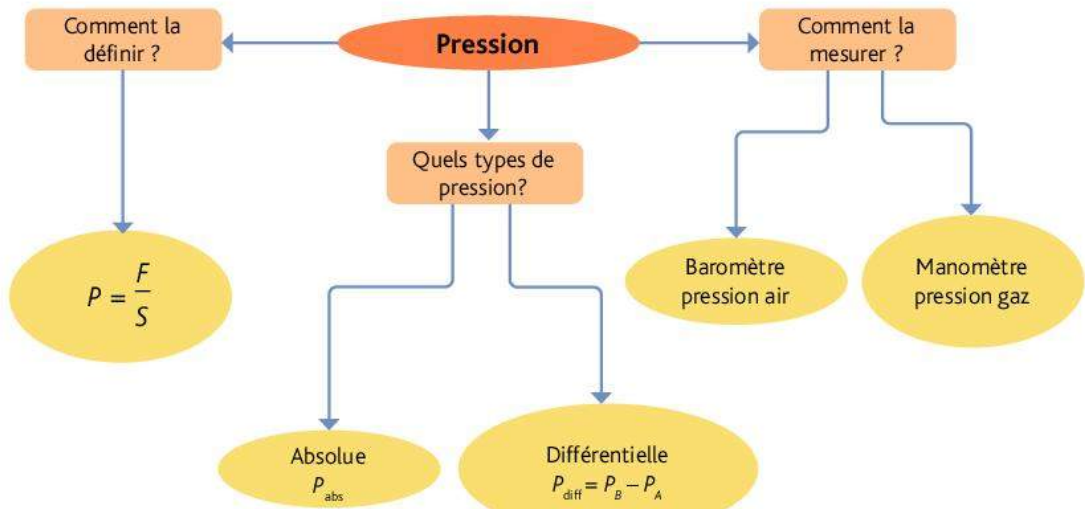
Le point B étant situé plus en profondeur, sa pression est plus élevée. Ainsi, dans l'eau, la pression augmente d'environ 1 bar tous les 10 mètres.



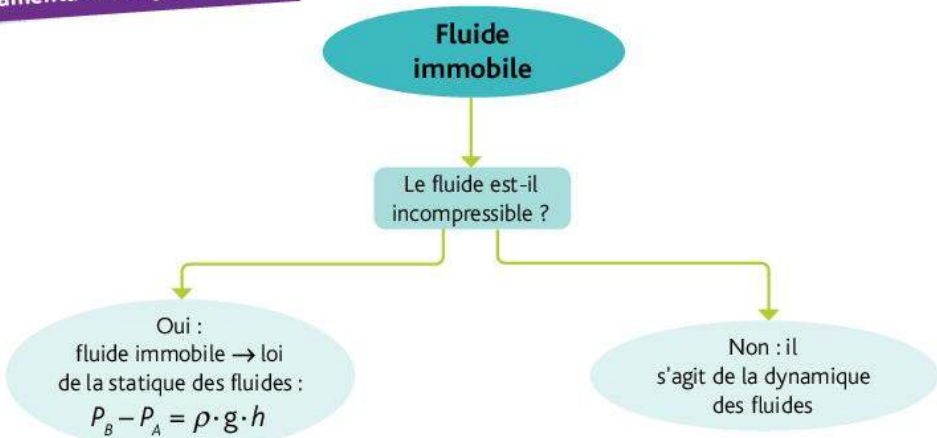
A. Caractéristiques d'un fluide



B. Pression dans un fluide



C. Principe fondamental de l'hydrostatique



Questions flash  Pour chaque question, trouver la ou les bonne(s) réponse(s).



CORRIGÉS p. 300-304

- 1** Dans le cas d'un fluide à l'état gazeux, les atomes ou molécules qui le constituent forment un ensemble...
- a. compact et désordonné.
 - b. dispersé et compact.
 - c. dispersé et désordonné.

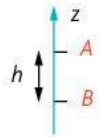
- 2** La relation entre pression P , force pressante F et surface S est...
- a. $F = \frac{P}{S}$.
 - b. $S = F \cdot P$.
 - c. $P = \frac{F}{S}$.

- 3** La pression atmosphérique est mesurée grâce au...
- a. manomètre.
 - b. baromètre.
 - c. pressiomètre.

- 4** L'unité SI de la pression est...
- a. le bar.
 - b. l'hectopascal.
 - c. le pascal.

- 5** La pression dans un fluide...
- a. ne dépend pas de l'altitude.
 - b. augmente avec la profondeur.
 - c. dépend de la masse volumique.

- 6** Dans un fluide, la différence de pression entre deux points immergés A et B est...
- a. $P_A - P_B = \rho \cdot g \cdot h$.
 - b. $P_B - P_A = \rho \cdot h \cdot g$.
 - c. $P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot h$.



Vrai ou Faux ? Pour chaque proposition, déterminer si elle est vraie ou fausse.

- 1** La valeur de la pression atmosphérique au niveau de la mer est de 1 053 hPa.
- 2** La pression exercée sur une surface de $0,1 \text{ m}^2$ par une force pressante de 50 N est égale à 500 Pa.
- 3** Dans l'eau, la pression vaut environ 4 bars à 40 m de profondeur.

- 4** La force pressante sur la figure ci-contre correspond à la force exercée en un point de la surface de la montgolfière par l'air extérieur.
- 5** La pression dans un fluide augmente avec sa masse volumique.



A Caractéristiques d'un fluide

1 Paquet de chips

Lors d'un pique-nique en altitude, un randonneur sort un paquet de chips. Celui-ci est étonnamment gonflé.

1. Que vaut la pression de l'air à l'intérieur du paquet, au niveau de la mer ? Et à l'extérieur du paquet ?
2. Que peut-on dire de la pression de l'air à l'extérieur du paquet quand on monte en altitude ?
3. En déduire pourquoi le paquet est gonflé.

Donnée

$$P_{\text{atm}} = 1,0 \text{ bar.}$$

B Pression dans un fluide

2 Utiliser une relation littérale

Le hublot d'un sous-marin explorateur des fonds marins a une surface S .



1. Comment varie la force pressante exercée sur le hublot par l'eau de mer au fur et à mesure de la plongée ?
2. À une profondeur donnée, cette force pressante sera-t-elle plus importante sur un hublot de plus petite surface ?

3 Force pressante et punaise

Pour accrocher une affiche au mur, une personne exerce une force pressante $F = 15 \text{ N}$ sur la tête d'une punaise.



1. L'aire de la tête de la punaise est $S = 80 \text{ mm}^2$. Calculer la pression exercée par le doigt sur la punaise.
2. La pression exercée sur la pointe pour percer le papier est égale à $3,0 \times 10^7 \text{ Pa}$. Calculer la surface de la pointe, pour une force pressante identique à la question précédente.

C Principe fondamental de l'hydrostatique

4 Pression au fond d'une mer

La mer Morte est un lac salé partagé entre Israël, la Cisjordanie et la Jordanie. Sa profondeur maximale est de 360 m.



Calculer la pression maximale dans la mer Morte, sachant que sa masse volumique est égale à $1\,240 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Donnée

$$P_{\text{atm}} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

5 Utiliser la loi de la statique des fluides

Une éprouvette graduée de 250 mL est remplie d'éthanol. On considère trois points A , B et C d'altitudes respectives 20, 12 et 0 cm (origine des altitudes prise au pied de l'éprouvette).



1. Parmi les points A , B et C , lequel est le plus profond vis-à-vis de la surface du liquide ?

2. Écrire la loi de la statique des fluides entre les points A et B , puis calculer la différence de pression entre ces deux points.

3. Utiliser de nouveau cette loi pour calculer la différence de pression entre les points A et C . Que peut-on en conclure ?

Donnée

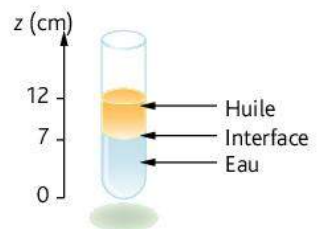
$$\rho_{\text{éthanol}} = 789 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

6 Huile et eau

On remplit un tube à essai avec de l'eau et de l'huile, deux liquides non miscibles. Les résultats des calculs suivants seront exprimés avec 4 chiffres significatifs.

1. Utiliser la loi de la statique des fluides pour calculer la pression P_{int} à l'interface des deux liquides.

2. Calculer la pression P_{fond} au fond du tube.



Données

- $P_{\text{atm}} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$;
- $\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
- $\rho_{\text{huile}} = 950 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.



7 Barotraumatisme

» Réaliser - Valider

Le tympan est une membrane élastique qui peut être modélisée par un disque de surface $S = 0,60 \text{ cm}^2$.

En plongée, douleurs et vertiges sont liés à une différence de pression de part et d'autre du tympan (P_A et P_B sur le Doc. 1).

Pour y remédier, on effectue la manœuvre de Valsalva qui consiste à injecter de l'air depuis la gorge vers la trompe d'Eustache.

1. Le plongeur est en surface, la tête hors de l'eau. Calculer la valeur de la force pressante F_A exercée par l'air sur la face externe du tympan.
2. Le plongeur descend à une profondeur $h = 30 \text{ m}$.
 - a. Écrire la loi de l'hydrostatique des fluides à cette profondeur.
 - b. En déduire la valeur de la pression à cette profondeur.
3. Calculer alors la valeur de la force pressante F'_A exercée par l'eau de mer sur la face externe du tympan.
4. Lors d'une descente rapide, la pression P_B reste égale à la pression atmosphérique. En quoi la manœuvre de Valsalva soulage-t-elle le plongeur ?

Données

$$P_{\text{atm}} = 1,0 \text{ bar} ; \rho_{\text{eau de mer}} = 1,03 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} ; g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} ; 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}.$$

RÉSOLUTION DÉTAILLÉE

1 On utilise la relation entre la pression P , la force pressante F et la surface S : $P = \frac{F}{S}$.

On manipule cette relation pour calculer F_A : $F_A = P_A \cdot S$.

On calcule alors la force pressante, en respectant les unités (P_A en Pa et S en m^2) :

$$F_A = 1,0 \times 10^5 \times 0,60 \times 10^{-4} = 6,0 \text{ N}.$$

2 a. On écrit la loi de l'hydrostatique entre le point immergé considéré et la surface : $P - P_{\text{atm}} = \rho \cdot g \cdot h$.

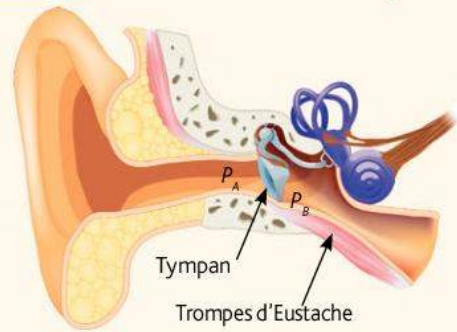
b. On manipule la loi pour calculer P : $P = \rho \cdot g \cdot h + P_{\text{atm}}$.

On calcule ensuite P : $P = 1,03 \times 10^3 \times 9,8 \times 30 + 1,0 \times 10^5 = 4,0 \times 10^5 \text{ Pa}$.

3 On applique la même démarche que dans la question 1, en utilisant la pression calculée précédemment : $F'_A = P_A \cdot S = 4,0 \times 10^5 \times 0,60 \times 10^{-4} = 24 \text{ N}$.

4 Le plongeur ressent une douleur à 30 m de profondeur car la force pressante exercée sur son tympan est 4 fois plus importante qu'en surface. La manœuvre de Valsalva le soulage car elle injecte de l'air dans la partie interne du tympan, ce qui permet d'équilibrer les pressions P_A et P_B de part et d'autre du tympan.

DOC. Structure de l'oreille et pression



À vous de jouer

8 Force pressante et masque de plongée

Un plongeur souhaite explorer l'épave d'un navire située à une profondeur de 35 m. Il s'équipe d'une bouteille de plongée et d'un masque de plongée d'une surface $S = 90 \text{ cm}^2$.

- a. Écrire la loi de l'hydrostatique des fluides entre la surface et la position de l'épave.
 - b. En déduire la valeur de la pression au niveau de l'épave.
2. Montrer que, dans l'eau de mer, la pression augmente de 1 bar tous les 10 m.

3. Calculer la valeur de la force pressante s'exerçant sur le masque du plongeur à 35 m de profondeur. Pourquoi, dans le monde de la plongée, parle-t-on de « placage » du masque ?

Données

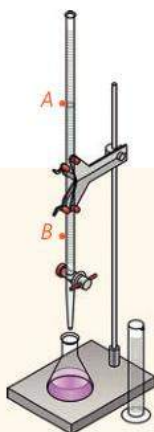
$$P_{\text{atm}} = 1,0 \text{ bar} ; \rho_{\text{eau de mer}} = 1,03 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} ; g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} ; 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}.$$

9 Pression dans une burette

» Réaliser • Mobiliser ses connaissances

DOC. Schéma du montage.

Lors d'un dosage, on a utilisé une burette remplie de permanganate de potassium. A et B sont deux points séparés de 50 cm. La pression en A est la pression atmosphérique.



1. La surface du liquide en A est $S_A = 1,03 \times 10^{-5} \text{ m}^2$. Calculer la valeur de la force pressante exercée par l'air sur la surface du liquide en A.

2. La masse volumique du permanganate de potassium est égale à $1\,080 \text{ SI}$.

a. Quelle est l'unité de la masse volumique dans le système international (SI) ?

b. Calculer la variation de pression ΔP entre les points A et B.

c. En déduire la valeur de la pression en B.

Données

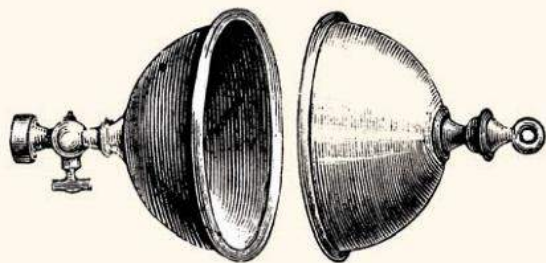
$$\rho_{\text{éthanol}} = 789 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}; P_{\text{atm}} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

10 Les hémisphères de Magdebourg

» S'approprier • Réaliser **Histoire des sciences**

En 1654, Otto von Guericke utilisa deux hémisphères accolés de manière que le joint soit étanche, puis il fit le vide dans la sphère ainsi réalisée. Il fallut huit chevaux tirant sur chaque hémisphère pour les décoller. Les deux hémisphères forment une sphère de rayon $R = 40 \text{ cm}$ quand ils sont joints.

DOC. Hémisphères de Magdebourg



1. Pourquoi les deux hémisphères restent-ils accolés ?

2. Pour les séparer, il faut exercer sur chaque hémisphère une force de valeur $F = 5 \times 10^4 \text{ N}$.

On néglige la pression résiduelle dans la sphère.

Si la force pressante s'exerçant sur un hémisphère s'appliquait sur une zone plane assimilable à un disque, quelle serait l'aire de ce disque ?

Donnée

$$P_{\text{atm}} = 1 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

11 Liquide inconnu

» Mobiliser ses connaissances • Réaliser • S'approprier

Pour déterminer la nature d'un liquide inconnu placé dans une éprouvette graduée, on souhaite utiliser la loi de la statique des fluides et un tableau donnant les masses volumiques de plusieurs liquides.

Liquide	Masse volumique (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
Eau	1 000
Alcool	790
Glycérine	1 250
Huile d'olive	920

On mesure la variation de pression $\Delta P = 1\,225 \text{ Pa}$ entre deux points A et B du fluide, A étant situé $10,0 \text{ cm}$ au-dessus de B.

Parcours 1

Identifier le liquide inconnu.

Parcours 2

1. La variation de pression ΔP correspond-elle à $P_A - P_B$ ou $P_B - P_A$?

2. Faire un dessin de la situation.

3. Calculer la masse volumique de ce liquide puis l'identifier.

Données

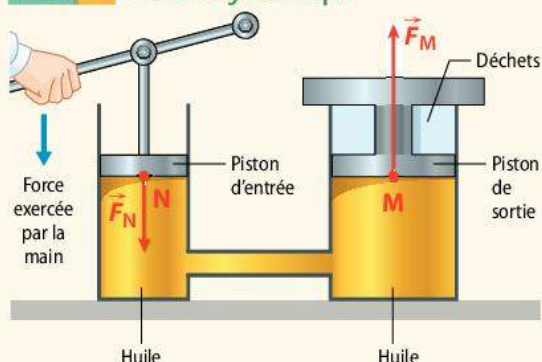
$$P_{\text{atm}} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}; g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

12 Presse hydraulique **Application technologique**

» S'approprier • Réaliser

Pour valoriser les déchets de papiers domestiques, on utilise une presse hydraulique. Les déchets sont broyés puis comprimés. On obtient alors des bâches de papier. Le piston actionné par le levier à main a un diamètre de $3,0 \text{ cm}$.

DOC. Presse hydraulique





- Calculer la valeur de la pression de l'huile P_N au niveau du piston d'entrée, pour une force pressante égale à 120 N.
- Sachant que le diamètre du piston de sortie est 4 fois plus grand que celui d'entrée, calculer la valeur de la force pressante F_M exercée sur le piston de sortie. Cette valeur est-elle logique ?

Donnée

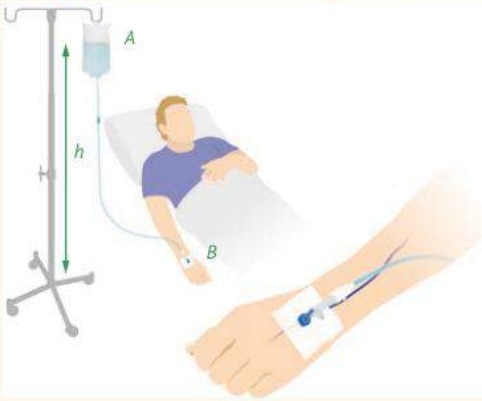
$$P_N = P_M$$

13 Perfusion Application technologique

» Réaliser • Analyser

La pression artérielle (ou tension artérielle) correspond à la différence entre la pression sanguine et la pression atmosphérique ; elle s'exprime en cm de mercure. La tension artérielle s'exprime par deux valeurs séparées par un point : la pression systolique (contraction du cœur) et la pression diastolique (relâchement du cœur).

DOC. Perfusion chez un patient



On souhaite réaliser une perfusion sur un patient dont la tension artérielle est 14.8.

- À quelle pression correspond la valeur 14 ? L'exprimer en Pa.
- Quelle est la valeur de la pression sanguine correspondante ?
- En admettant que la pression sanguine en B est la même que la pression exercée par le liquide à perfuser (solution glucosée), calculer la hauteur minimale h nécessaire pour réussir la perfusion.
- Cette hauteur est-elle toujours disponible ? Pensez en particulier au transport des patients.

Données

- $\rho_{\text{solution glucosée}} = 1,03 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
- $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- $P_{\text{atm}} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa} = 76 \text{ cm de mercure}$.

14 Baumgartner Application technologique

» Mobiliser ses connaissances • Réaliser

Le 4 octobre 2012, Félix Baumgartner effectue un saut historique à 39 km d'altitude. Sans sa combinaison pressurisée à $0,6 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$, ses fluides corporels seraient entrés en ébullition, car la pression à cette altitude n'est plus que de 300 Pa.



- L'unité donnée pour la pressurisation de la combinaison est-elle une unité de pression ? Justifier.
- Calculer la valeur de la force pressante exercée par l'air extérieur sur la visière de son casque d'une surface de 350 cm^2 .
- Que peut-on dire de la force pressante exercée par l'air sur cette même surface à l'intérieur de la combinaison ?
- Faire un schéma du casque et y représenter ces deux forces pressantes.

Donnée

$$P_{\text{atm}} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$$

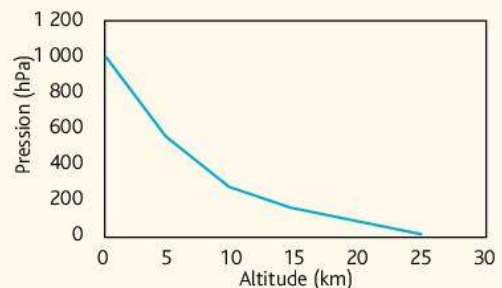
15 Force subie par un hublot d'avion

» Réaliser • Analyser

Un avion vole à environ 10 000 m d'altitude avec une « altitude cabine » d'environ 2 500 m.

- Utiliser le graphique ci-dessous pour déterminer la pression de l'air à l'extérieur et à l'intérieur de l'avion.

DOC. Pression en fonction de l'altitude



- On considère un hublot circulaire de diamètre 30 cm. Calculer la valeur F_1 de la force pressante exercée par l'air intérieur sur la surface du hublot, puis celle F_2 exercée par l'air extérieur.
- Représenter ces forces sur un schéma.
- Est-il correct d'affirmer que le fuselage est « gonflé » comme un ballon de football ?
- Que pourrait-il se passer en cas de déchirure de la coque ?

16 Formule 1 et fluide hydraulique

• Les fluides hydrauliques sont des huiles utilisées en sport automobile. Dans le moteur, ce fluide est mis en pression grâce à une pompe, pour ensuite être acheminé vers la commande de changement de rapports de boîte de vitesses, la commande d'embrayage ou encore la direction assistée.



Donnée

- Masse volumique du fluide hydraulique (huile moteur) : $\rho = 811 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9,80 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

1. Exprimer, sans la calculer, l'intensité F_{int} de la force exercée sur la face intérieure de la cuve.

2. Même question pour l'intensité F_{ext} de la force exercée sur la face extérieure de la cuve.

3. En déduire que l'intensité F_R de la force pressante résultante de ces deux forces ne dépend que de la pression due au fluide et de la surface du fond de la cuve, puis calculer cette force.

On cherche à déterminer expérimentalement la valeur de la masse volumique de l'huile moteur.

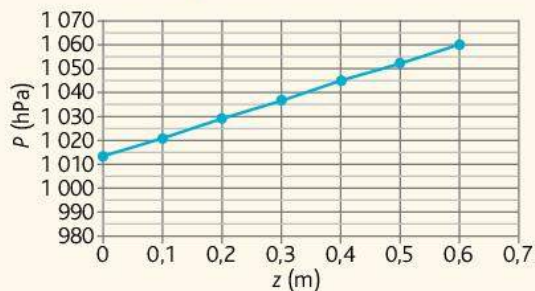
On réalise pour cela plusieurs mesures de pression dans ce liquide, à des profondeurs différentes. Le graphique du doc. 1 représente l'évolution de la pression P dans le fluide en fonction de la profondeur z .

4. a. Écrire la loi de la statique des fluides entre deux points A et B du fluide, A étant situé à la surface.

b. Comment déterminer à l'aide du graphique la valeur de la pression atmosphérique ?

c. À l'aide du graphique également, déterminer la masse volumique ρ de l'huile.

DOC. Pression P dans l'huile en fonction de la profondeur



• Avant utilisation, le fluide hydraulique est stocké dans des cuves cylindriques de hauteur $h = 0,87 \text{ m}$ et de rayon $R = 30 \text{ cm}$. Deux forces pressantes sont exercées de chaque côté du fond de la cuve. La face intérieure est soumise à une pression due à l'air au-dessus de la cuve et à la présence de l'huile tandis que la face extérieure est uniquement soumise à la pression atmosphérique. On note P_{atm} la pression atmosphérique et P la pression exercée par le fluide.

5. a. Écrire le résultat de la pression atmosphérique mesurée en surface sous la forme : $P = P_{\text{exp}} \pm \Delta P$ où P est la valeur de la pression atmosphérique déterminée graphiquement et ΔP la valeur de l'incertitude liée au pressiomètre utilisé. Cette dernière est égale à 2 % de la mesure.

b. Mesure et incertitudes En déduire l'incertitude ΔP pour un niveau de confiance de 95 % tel que :

$$\Delta P = \frac{2 \times \Delta p}{\sqrt{3}}$$

c. Écrire le résultat final de la pression P sous la forme : $P = P_{\text{exp}} \pm \Delta P$ en utilisant un nombre adapté de chiffres significatifs.

6. Le calcul de l'incertitude sur la mesure de la masse volumique ρ est $\Delta \rho = 33 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Évaluer la précision relative de la mesure de ρ dans ces conditions. Le résultat trouvé pour ρ dans la question 4. c. est-il compatible avec celui annoncé dans les données ?

Mini-projet d'application

Quels sont les effets physiologiques de la pression sur le corps humain, lors d'une plongée ?



Cahier des charges à suivre

- Caractériser expérimentalement la loi de Mariotte $P \cdot V = \text{constante}$ et comprendre le phénomène de surpression pulmonaire.
- Exploiter la loi de Henry lorsque la pression augmente et expliquer l'accident de décompression.
- Comprendre l'effet d'une force pressante sur le tympan et expliquer le phénomène du barotraumatisme.

DOC. 1 Loi de Henry

- À température constante et à saturation, la quantité de gaz dissous dans un volume donné de liquide est proportionnelle à la pression de ce gaz au-dessus de ce liquide.

$$C = K \cdot P.$$

- Avec P la pression du gaz en bars, C la concentration molaire en gaz dissous en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et K la constante de Henry qui dépend de la nature du gaz et du liquide.

DOC. 2 Palier de décompression

- En plongée sous-marine, un palier de décompression est le temps que l'on passe à une profondeur donnée afin de réduire le taux de diazote restant dans les tissus humains (sang notamment).
- Les paliers et la durée de décompression varient en fonction de la profondeur atteinte et du temps passé sous l'eau. Ces informations sont données par des tables de plongée ou un ordinateur de plongée.
- Ainsi, si l'on plonge à 28 m de profondeur pendant 30 minutes, il faut respecter un palier de 6 minutes à 3 m en fin de plongée. Ce type de plongée est très classique en plongée de loisir.
- Pour des plongées peu profondes et courtes, il n'est parfois pas nécessaire de respecter un palier de décompression ; on veillera cependant à ne pas dépasser la vitesse maximum de remontée : 15 mètres par seconde.

DOC. 3 Effet de la pression sur une membrane



Vers le grand oral

Préparer une courte présentation, avec quelques schémas simples des conséquences d'une plongée sur le corps humain.

S'approprier le projet avant de commencer

- 1 Selon la loi de Mariotte, lorsque la pression P d'un gaz diminue, que peut-on dire de son volume V ?
- 2 D'après le doc. 2, dans quels cas faut-il respecter des paliers de décompression ?
- 3 Rechercher sur Internet des informations sur le « barotraumatisme ».

Se préparer

et réviser les acquis de 1^{re}

Pour l'enseignant

↓ Diaporama des questions flash

Questions flash



CORRIGÉS p. 300-304

Pour chaque question, trouver la ou les bonnes réponses.

- Mesurer une température d'un corps revient en fait à...
 - mesurer la vitesse moyenne des molécules ou atomes de ce corps.
 - mesurer la quantité d'énergie thermique transférée à ce corps.
- La capacité thermique de l'eau liquide vaut $4\,185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Cela signifie qu'il faut fournir $4\,185 \text{ J}$ d'énergie à...
 - un kilogramme d'eau liquide pour que sa température augmente d'un kelvin.
 - un kilogramme d'eau liquide pour que sa température augmente d'un degré Celsius.
 - 100 grammes d'eau liquide pour que sa température augmente de dix kelvins.
- Une température de $100 \text{ }^\circ\text{C}$ correspond à une température de...
 - 100 K.
 - 273 K.
 - 373 K.
- Si la température d'un corps passe de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ à $50 \text{ }^\circ\text{C}$...
 - c'est qu'on lui a apporté de l'énergie.
 - c'est qu'il a libéré de l'énergie.
 - c'est que son énergie interne a augmenté.
- Un solide se transforme en liquide. Ce changement d'état se nomme...
 - fusion.
 - ébullition.
 - condensation.
- L'énergie massique de changement d'état s'exprime en...
 - $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$
 - $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
 - $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
 - J/kg

Capacités exigibles

- Associer, dans le cas de l'eau, un changement d'état à l'établissement ou à la rupture de liaisons hydrogène entre molécules.
- Utiliser un diagramme d'état (p, T) pour déterminer l'état final d'un fluide lors d'une transformation physique d'un corps pur.
- Utiliser l'énergie massique de changement d'état et les capacités thermiques massiques pour calculer les énergies mises en jeu.

Activité 1

Activités 2 4

Activité 3

Les changements d'état

Lien vidéo

Expérience avec l'hexafluorure de soufre (3 min 20)



Un randonneur en montagne veut faire fondre de la glace pour obtenir de l'eau liquide.

Quelle quantité d'énergie est-elle nécessaire pour faire fondre 1 kg de glace ?
Ce changement d'état se produit-il toujours à la même température ?

Liens avec les maths

- Lecture et exploitation de courbes **Activités** 2 4

Activités



- 1 Les propriétés physiques de l'eau
- 2 De la glace carbonique pour éteindre les feux
- 3 Quelle quantité d'énergie pour faire fondre 1 kg de glace ?
- 4 L'eau bout-elle toujours à la même température ?

documentaire

documentaire

expérimentale

expérimentale

1 Les propriétés physiques de l'eau

ACTIVITÉ 1

Capacité Associer, dans le cas de l'eau, un changement d'état à l'établissement ou à la rupture de liaisons hydrogène entre molécules.

Objectif En quoi les liaisons hydrogène permettent-elles d'expliquer les propriétés particulières de l'eau ?

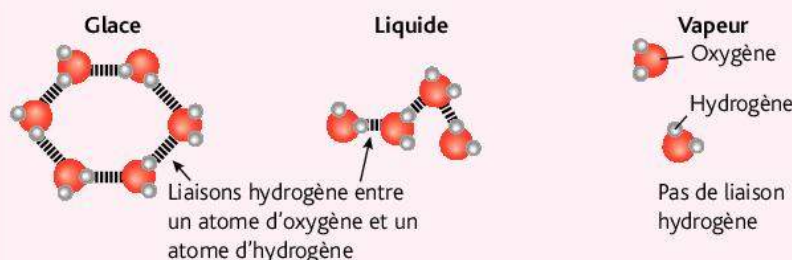
DOC. 1 La physique de l'eau liquide.

L'eau est un liquide très cohésif : ses températures de fusion et de vaporisation sont très élevées pour un liquide qui n'est ni ionique, ni métallique, et dont la masse molaire est faible. Ainsi, l'eau reste liquide à pression atmosphérique jusqu'à 100 °C alors que des molécules semblables, comme H_2S , H_2Se , H_2Te par exemple, donneraient une température de vaporisation proche de -80 °C. L'énergie massique de changement d'état est aussi beaucoup plus élevée que celle de la plupart des liquides semblables. Cette cohésion est en fait assurée par les liaisons

hydrogène entre molécules d'eau. Dès qu'une molécule possède un groupement HO, HF ou NH, des interactions azote-hydrogène, oxygène-hydrogène ou fluor-hydrogène peuvent apparaître. Ainsi, il faut de l'énergie pour rompre ces liaisons et la chaleur absorbée par ces ruptures n'est pas disponible pour augmenter l'énergie cinétique des molécules, ce qui réduit l'élévation de température (ou le changement d'état).

D'après *La physique de l'eau liquide*,
B. Cabane, R. Vuilleumier, 2005.

DOC. 2 Les liaisons hydrogène dans les différents états de l'eau.



DOC. 3 Comparaison des caractéristiques physiques de l'eau et du sulfure d'hydrogène.

Espèce chimique	Température de fusion (en °C) à $p = p_{atm}$	Température de vaporisation (en °C) à $p = p_{atm}$	Énergie massique de fusion (en $kJ \cdot kg^{-1}$)	Énergie massique de vaporisation (en $kJ \cdot kg^{-1}$)
H_2O	0	100	$3,3 \times 10^2$	$2,26 \times 10^3$
H_2S	-86	-60	70	546

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **S'approprier** Quelles sont les caractéristiques physiques si exceptionnelles de l'eau citées dans les docs. 1 et 2 ?

2 » **S'approprier** Comment s'établit une liaison hydrogène (docs. 1 et 2) ?

Conclusion

Expliquer, en utilisant les liaisons hydrogène, la différence d'énergie massique de fusion de l'eau par rapport à celle du sulfure d'hydrogène.

3 » **Analyser** Montrer pourquoi seules les molécules d'eau peuvent former des liaisons hydrogène entre elles et pas les molécules de sulfure d'hydrogène (docs.1 et 2).

👉 Appeler l'enseignant pour vérifier les réponses.

4 » **Analyser** • **Réaliser** Il faut presque 5 fois plus d'énergie pour faire fondre 1 kg de glace que la même masse de sulfure d'hydrogène. Vérifier cette affirmation avec les données du doc. 3.

2 De la glace carbonique pour éteindre les feux

ACTIVITÉ

Capacité Utiliser un diagramme d'état (p , T) pour déterminer l'état final d'un fluide lors d'une transformation physique d'un corps pur.

Objectif Déterminer les températures de changements d'état du dioxyde de carbone lors de l'utilisation d'un extincteur.

La glace carbonique est un solide blanc qui rappelle la glace (d'eau), mais elle est constituée uniquement de CO_2 . Elle a la particularité, si on la réchauffe, de passer directement à l'état gazeux.



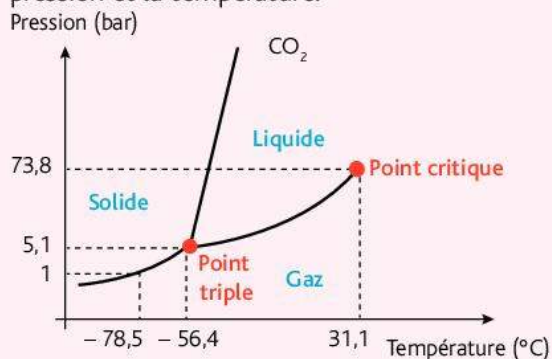
DOC. 1 Utilisation de la glace carbonique dans les extincteurs.

Dans les extincteurs, le CO_2 gazeux a été énormément comprimé (pression de 50 bars environ) : il est donc sous forme liquide. Lorsqu'on utilise l'extincteur, une partie du CO_2 , en sortant du gicleur, se transforme immédiatement en vapeur et se refroidit alors tellement que le reste gèle en neige carbonique et absorbe la chaleur du feu. De plus, de par sa densité plus élevée, le CO_2 gazeux supplante l'oxygène de l'air et étouffe ainsi le feu.

D'après *La neige carbonique, de la glace sèche!*
<https://m.simplyscience.ch>

DOC. 2 Diagramme d'état (p , T) du dioxyde de carbone.

Différents états du dioxyde de carbone selon la pression et la température.



DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **S'approprier** D'après le doc. 1, dans quel(s) état(s) se trouve(nt) le dioxyde de carbone lorsqu'il est à l'intérieur de l'extincteur ? Lorsqu'il est à l'extérieur de l'extincteur ?

2 » **Analyser** Sous quels états peut se trouver le dioxyde de carbone à la pression atmosphérique ? Justifier en utilisant le doc. 2.

Appeler l'enseignant pour vérifier les réponses.

3 » **Réaliser** Représenter sur le doc. 2 l'étape qui permet de comprimer le CO_2 dans les extincteurs : transformation lente à température constante de 20 °C (dite isotherme) de la pression atmosphérique ($p = 1,013$ bar) à la pression $p = 50$ bars. Quel changement d'état a lieu ?

Conclusion

Dans le doc. 1, il est indiqué que lorsque le CO_2 sort de l'extincteur (détente du gaz), celui-ci est fortement refroidi et que de la glace carbonique se forme. À l'aide du doc. 2, déterminer à quelle température se fait cette condensation si l'on considère que ce changement d'état se fait à pression atmosphérique. En déduire à quelle température a lieu la sublimation du CO_2 indiquée dans le texte introductif.

3 ACTIVITÉ 3 Quelle quantité d'énergie pour faire fondre 1 kg de glace ? 1 h 30

Capacité

Utiliser l'énergie massique de changement d'état et les capacités thermiques massiques pour calculer les énergies mises en jeu.

Objectif du TP

Déterminer l'énergie massique de fusion de l'eau, notée L_{fus} .



ÉTAPE 1 Mise en place du protocole

1. Introduire dans le calorimètre une masse $m_1 = 0,500$ kg d'eau liquide.
2. Agiter un peu et attendre que la température de l'eau prenne une valeur constante. Relever la valeur θ_i de la température initiale.
3. Prendre 4 glaçons supposés à une température de 0°C (sortis depuis quelques minutes du congélateur), les sécher avec du papier absorbant, les peser (on notera la masse m_2) et les introduire rapidement dans le calorimètre.
4. Agiter, laisser fondre et relever la température finale θ_f atteinte après agitation et stabilisation de la température.

MATÉRIEL

- Calorimètre.
- Thermomètre électrique.
- Petits glaçons.
- Éprouvette graduée.
- Balance.

ÉTAPE 2 Exploitation des mesures

1. L'eau liquide a-t-elle perdu ou gagné de l'énergie thermique ? En déduire la quantité d'énergie échangée par l'eau liquide Q_1 .
La quantité de chaleur échangée par un corps de masse m dont la température passe d'une température θ_i à θ_f s'écrit : $Q = m \cdot c \cdot (\theta_f - \theta_i)$
2. Le calorimètre n'étant pas parfait, l'énergie gagnée ou perdue par le calorimètre Q_{cal} se détermine par la relation : $Q_{\text{cal}} = C_{\text{cal}} \cdot (\theta_f - \theta_i)$, avec la capacité thermique du calorimètre $C_{\text{cal}} = 32 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ et $\theta_f - \theta_i$ la variation de température du calorimètre (en $^\circ\text{C}$ ou en K). Déterminer Q_{cal} .
Au cours de cette manipulation, les glaçons fondent à température constante de 0°C , puis l'eau liquide formée s'échauffe de 0°C jusqu'à la température θ_f .
3. Pour fondre, les glaçons gagnent-ils ou perdent-ils de l'énergie ? Exprimer la quantité d'énergie échangée par les glaçons pour la fusion Q_{fus} en fonction de la masse m_2 des glaçons et de l'énergie massique de fusion L_{fus} .
4. L'eau qui a fondu a-t-elle perdu ou gagné de l'énergie thermique ? En déduire la quantité d'énergie thermique échangée par l'eau liquide (celle qui provient des glaçons) Q_2 .
5. Expliquer l'origine de la relation : $Q_{\text{fus}} + Q_2 = -Q_{\text{cal}} - Q_1$.
6. En déduire la valeur de Q_{fus} , puis de l'énergie massique de fusion L_{fus} (en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Donnée

Capacité thermique massique de l'eau liquide :

$$c_{\text{eau}} = 4185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Aide

La quantité de chaleur échangée par un corps de masse m dont la température passe de θ_i à θ_f s'écrit :
 $Q = m \cdot c \cdot (\theta_f - \theta_i)$

Rappel

Tant qu'il y a changement d'état, la température n'évolue plus : il y a un palier de température.

Conclusion du TP

La valeur référencée dans les tables de l'énergie massique de fusion de l'eau (appelée aussi chaleur latente ou enthalpie massique de fusion) est $L_{\text{fus}} = 333,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Le résultat final est-il compatible avec la valeur de référence ? Commenter.

L'eau bout-elle toujours à la même température ?



Capacités

- Formuler une hypothèse
- Proposer et réaliser un protocole expérimental.

Objectif du TP

Vérifier que la température d'ébullition de l'eau n'est pas toujours la même.

Un randonneur constate que la cuisson des pâtes dans l'eau bouillante en altitude n'est pas aussi satisfaisante que chez lui (au niveau de la mer). Comment peut-on expliquer ce phénomène ?



DOC. 1 Évolution de la pression atmosphérique en fonction de l'altitude.

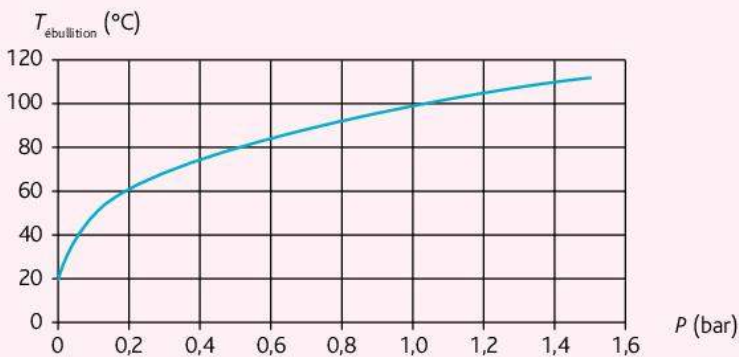


Altitude	Pression
3 000 m	701 hPa
2 000 m	795 hPa
1 000 m	899 hPa
0 m	1 013 hPa

MATÉRIEL

- Bêcher d'eau distillée.
- Thermomètre électrique.
- Baromètre portable.
- Bec électrique pour chauffer l'eau.
- Cloche et pompe à vide.

DOC. 2 Évolution de la température d'ébullition en fonction de la pression.



ÉTAPE 1 Hypothèses

1. À quelle température l'eau bout-elle au niveau de la mer ?
2. Pour répondre à la problématique, quel paramètre expérimental peut-on faire varier ?
3. À l'aide du matériel disponible, proposer un protocole expérimental qui permette de répondre à la problématique.

Appeler le professeur pour qu'il vérifie votre protocole.

Astuce

Amener l'eau presque à ébullition en dehors de la cloche à vide.

ÉTAPE 2 Mise en place du protocole

4. Réaliser au moins 5 mesures différentes qui permettent de répondre précisément à la problématique. Présenter les résultats dans un tableau.

Conclusion du TP

Expliquer pourquoi le randonneur a du mal à cuire ses pâtes en haute montagne.

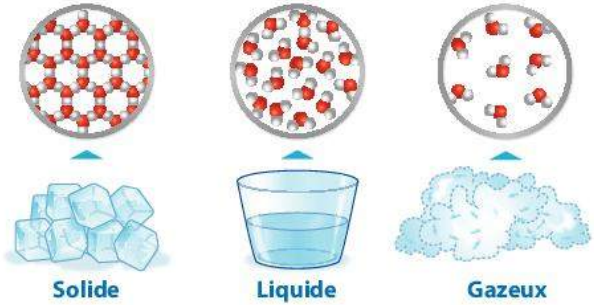


A Les différents états de la matière

COURS

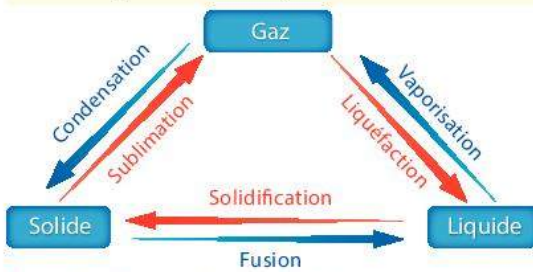
1 Description microscopique des trois états

- Plus la **température d'un corps augmente**, plus l'agitation thermique des molécules/atomes de ce corps est grande (plus la vitesse moyenne des particules augmente).
- On distingue, selon l'organisation microscopique des particules (ordonnée, compacte, etc.), trois états particuliers de la matière : l'état **solide**, l'état **liquide** et l'état **gazeux**.



2 Changements d'état

- On appelle **changement d'état** le passage d'un état à un autre. Chaque changement d'état porte un nom particulier.



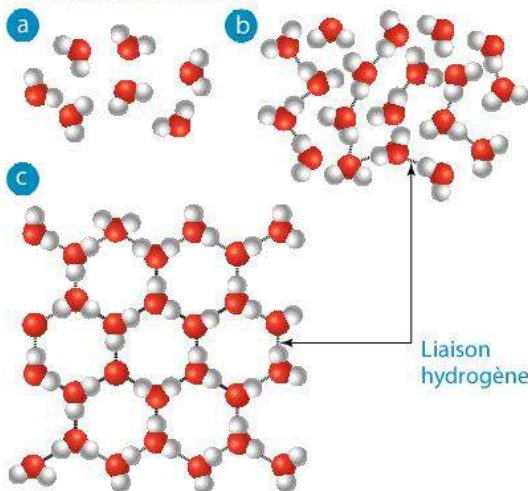
- À une pression donnée, chaque changement d'état s'effectue à une température précise. **Cette température reste constante tant que le changement d'état a lieu.**

Exemple :

La température de vaporisation de l'eau est de 100 °C à $p = 1$ bar mais seulement de 90 °C à $p = 0,7$ bar.

Exemple : Cas particulier de l'eau

Les molécules d'eau forment entre elles des liaisons appelées liaisons hydrogène. Ces liaisons sont d'autant plus fortes et nombreuses que la structure est ordonnée et compacte. Elles sont donc plus importantes à l'état solide **c** qu'à l'état **b** liquide et quasiment absentes à l'état gazeux **a**. Un changement d'état s'accompagne d'une modification du nombre de ces liaisons.



INFOS FLASH

Dans une cocotte-minute, la pression peut monter jusqu'à presque 2 bars (2 fois la pression atmosphérique). L'eau bout alors à 120 °C, réduisant le temps de cuisson des aliments par trois.



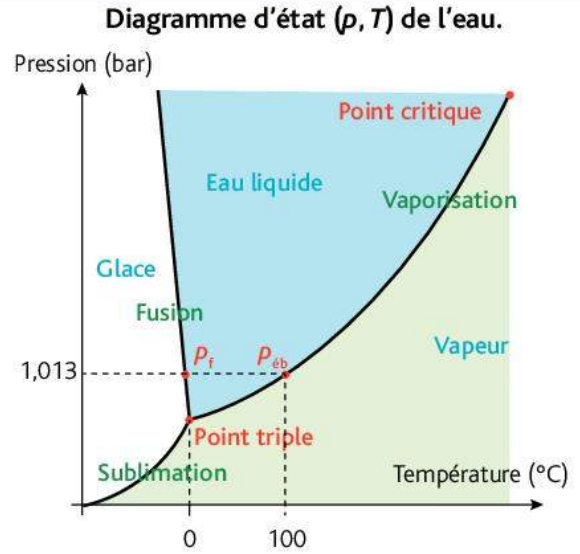
3 Diagramme d'état (p, T)

- L'état physique d'un corps peut être déterminé à l'aide d'un **diagramme d'état (p, T)** . Celui-ci indique les différents domaines (on dit aussi les différentes phases : solide, liquide ou gaz) pour une pression et une température données. Ces domaines sont délimités par les courbes de fusion, de vaporisation et de sublimation (voir ci-contre). Un changement d'état se produit à la traversée d'une courbe d'équilibre : deux états coexistent alors pendant ce changement de phase.
- Ces trois courbes d'équilibre se rejoignent au **point triple** où les trois phases (solide, liquide et gaz) coexistent. La courbe de vaporisation est limitée par le **point critique** au-delà duquel les propriétés du fluide sont intermédiaires entre celles d'un liquide et d'un gaz : on parle alors de fluide supercritique.

Exemple :

Le point triple de l'eau se situe à $T = 273,16 \text{ K}$ et $p = 6,11 \times 10^2 \text{ Pa}$.

Le point critique de l'eau se situe à $T = 647 \text{ K}$ et $p = 221 \times 10^5 \text{ Pa}$.



B Bilan énergétique d'une transformation physique

1 Capacité thermique massique

- La **capacité thermique massique** d'un corps, notée c , correspond à la quantité d'énergie qu'il faut apporter pour élever d'un kelvin la température d'un kilogramme de ce corps. Elle s'exprime en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Exemple :

Quelques valeurs de capacités thermiques massiques

Corps pur	Eau liquide	Eau solide	Éthanol liquide	Fer solide
$c \text{ (kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{)}$	4,18	2,06	2,44	0,45

- Lorsqu'il n'y a pas de changement d'état, la **quantité d'énergie thermique** Q transférée à un corps de masse m pour faire varier sa température d'une valeur T_i à une valeur T_f s'écrit :

$$Q = m \cdot c \cdot (T_f - T_i)$$

Avec : Q en J, m en kg, c en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $T_f - T_i$ en K.

Astuce

La variation de température $T_f - T_i$ correspond à la même valeur en K ou en $^{\circ}\text{C}$.

Exemple

Pour réchauffer 500 g d'eau liquide d'une température initiale de 15°C à 75°C , il faut apporter une quantité d'énergie thermique :

$$Q = m \cdot c \cdot (T_f - T_i) = 0,500 \times 4,18 \times (75 - 15) \approx 125 \text{ kJ.}$$

2 Énergie massique de changement d'état

- L'**énergie massique de changement d'état** d'un corps, notée L , correspond à la quantité d'énergie échangée avec le milieu extérieur par kilogramme de ce corps pour le faire changer d'état. Elle s'exprime en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- Cette énergie correspond à l'énergie nécessaire pour rompre ou établir des liaisons électriques intermoléculaires (et les liaisons hydrogène dans le cas de l'eau).

Exemple :

Quelques valeurs d'énergie massique de changement d'état

Corps pur	Eau	Éthanol	Dioxyde de carbone
$L_{\text{fusion}} \text{ (kJ} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$	334	109	181
$L_{\text{vaporisation}} \text{ (kJ} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$	2 257	855	391

- Lors d'un changement d'état, la quantité d'énergie thermique Q transférée à un corps de masse m s'écrit :

$$Q = m \cdot L$$

Avec : Q en J, m en kg, L en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

Exemple : Pour faire fondre un bloc de 500 g de glace à 0°C , il faut apporter une quantité d'énergie thermique $Q = m \cdot L_{\text{fusion}} = 0,500 \times 334 = 167 \text{ kJ}$.

- Pour faire passer un corps d'un état compact et ordonné à un autre moins compact et moins ordonné (de l'état solide à l'état liquide ou de l'état liquide à l'état gazeux), il faut **fournir de l'énergie thermique à ce corps** ($L > 0$). Le changement d'état inverse libère la même quantité d'énergie ($L < 0$).

Exemple : $L_{\text{fusion}}(\text{eau}) = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} > 0$ alors que $L_{\text{solidification}} = -334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} < 0$.

3 Réaliser un bilan énergétique

- Lors d'**échanges thermiques** entre deux systèmes, le plus chaud va voir son énergie interne diminuer en cédant une certaine quantité d'énergie au système le plus froid, qui va voir son énergie interne augmenter. Lorsque la température des deux systèmes se stabilise à une température d'équilibre, **il n'y a plus d'échange thermique**.
- Afin de réaliser correctement le bilan énergétique des différents échanges, il faut procéder par étapes en distinguant celles sans changement d'état et celles avec changement d'état. Enfin, il faut bien faire attention aux signes des transferts thermiques : $Q < 0$ si le système a cédé de l'énergie, $Q > 0$ sinon.

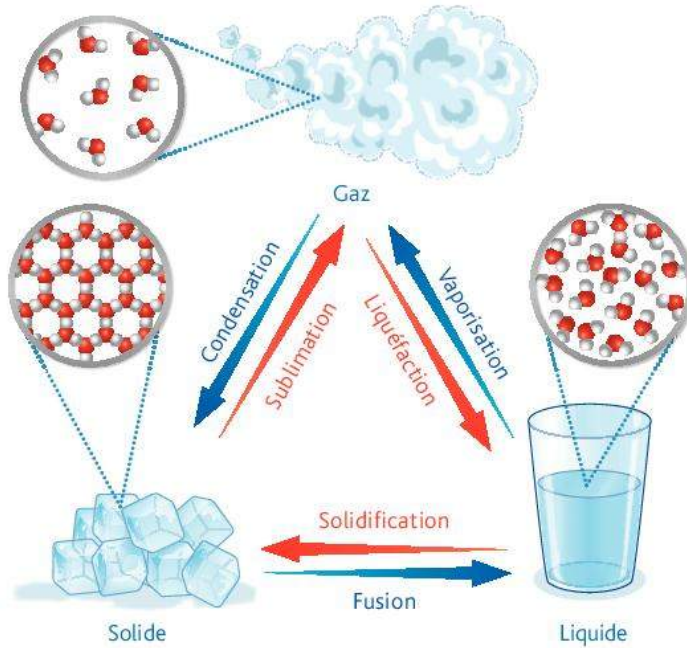
Exemple :

On place un glaçon de 50 g initialement à $0,0^\circ\text{C}$ dans 1 L d'eau à $20,0^\circ\text{C}$. La température finale du système à l'équilibre vaut environ $15,2^\circ\text{C}$.

Si on néglige les autres échanges thermiques avec l'extérieur (air, verre, etc.), toute l'énergie reçue par le système {glaçon} (pour fondre et se réchauffer) provient du système {eau liquide} qui s'est donc refroidi.

	Système {glaçon}		Système {eau liquide}
	Changement d'état	Échauffement	Refroidissement
Évolution de la température	Température constante $\theta_1 = 0^\circ\text{C}$	$\theta_1 = 0^\circ\text{C}$ à $\theta_3 = 15,2^\circ\text{C}$	$\theta_2 = 20^\circ\text{C}$ à $\theta_3 = 15,2^\circ\text{C}$
Énergie échangée	$Q_{\text{fusion}} = m_{\text{glaçon}} \cdot L_{\text{fusion}}$ $= 0,050 \times 334$ $= 16,7 \text{ kJ}$	$Q_1 = m_{\text{glaçon}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot (\theta_3 - \theta_1)$ $= 0,050 \times 4,18 \times (15,2 - 0,0)$ $\approx 3,2 \text{ kJ}$	$Q_2 = m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot (\theta_3 - \theta_2)$ $= 1,0 \times 4,18 \times (15,2 - 20)$ $\approx -20,0 \text{ kJ}$
Énergie totale	$\approx 20 \text{ kJ} > 0$		$\approx -20 \text{ kJ} < 0$

A. Les différents états de la matière

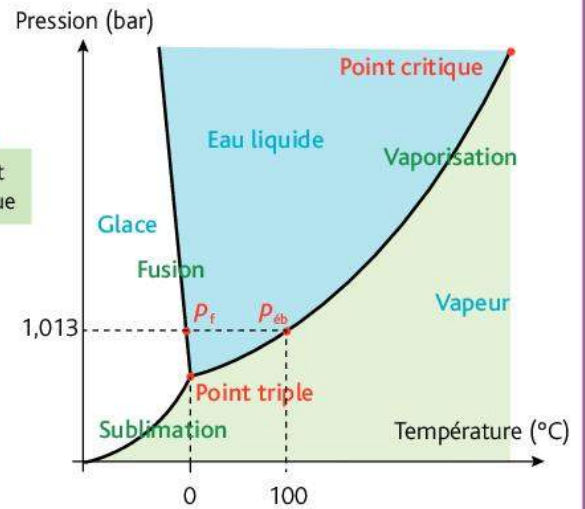


Qu'est ce qui caractérise un diagramme d'état (p, T) ?

Courbes d'équilibre

Point triple

Point critique



B. Bilan énergétique d'une transformation physique

Comment calculer une quantité d'énergie thermique Q transférée ?

Variation de température sans changement d'état :
 $Q = m \cdot c \cdot (T_f - T_i)$

Température constante avec changement d'état :
 $Q = m \cdot L$

Bilan énergétique d'un système

$Q > 0$ si l'énergie thermique est **reçue** par le système.

$Q < 0$ si l'énergie thermique est **perdue** par le système.

Questions flash  Pour chaque question, trouver la ou les bonne(s) réponse(s).



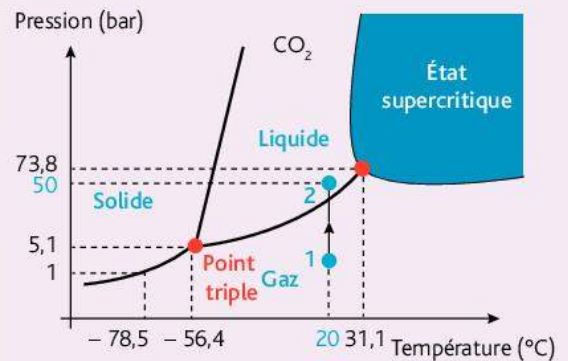
CORRIGÉS p. 300-304

- 1** Le passage de l'état liquide à l'état solide s'appelle...
- condensation.
 - liquéfaction.
 - solidification.

- 2** Les liaisons hydrogène sont des liaisons qui se forment...
- entre les molécules d'eau.
 - entre un atome d'hydrogène d'une liaison O — H et un atome d'oxygène d'une autre molécule d'eau.
 - entre un atome d'hydrogène d'une liaison O — H et un atome d'oxygène de la même molécule d'eau.

- 3** Sur le diagramme (p, T) du dioxyde de carbone ci-contre, le point triple...
- correspond à la coexistence des 3 états simultanément.
 - a pour coordonnées $p = 5,1$ bars et $T = -56,4$ °C.
 - correspond à un état appelé supercritique.

- 4** Sur le diagramme (p, T) ci-contre, lorsqu'on passe du point 1 au point 2...
- la transformation a lieu à une température constante.
 - il se produit une sublimation.
 - le dioxyde de carbone a été comprimé de $p = 1$ bar à $p = 50$ bars.



- 5** L'énergie massique de fusion de l'eau vaut $L_{\text{fusion}} = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Pour transformer 100 g d'eau de l'état liquide à l'état solide à 0 °C...
- il faut fournir 33,4 kJ d'énergie au système.
 - le système libère 33,4 kJ d'énergie.
 - on ne peut pas déterminer la quantité d'énergie échangée sans connaître $L_{\text{solidification}}$.

Vrai ou Faux ? Pour chaque proposition, déterminer si elle est vraie ou fausse.

- Dans le diagramme (p, T) , la courbe séparant les domaines gaz et solide est appelée courbe de sublimation.
- De l'eau pure bout toujours à 100 °C.
- Pour passer de l'eau liquide à l'eau solide, il faut apporter de l'énergie pour rompre les liaisons hydrogène entre molécules.
- L'énergie massique de vaporisation de l'eau vaut $2\,257 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. L'énergie massique de liquéfaction vaut également $2\,257 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- L'énergie échangée lors d'un changement d'état se calcule par la formule : $Q = m \cdot c \cdot (T_f - T_i)$.

A Les différents états de la matière

1 Énergie massique de vaporisation

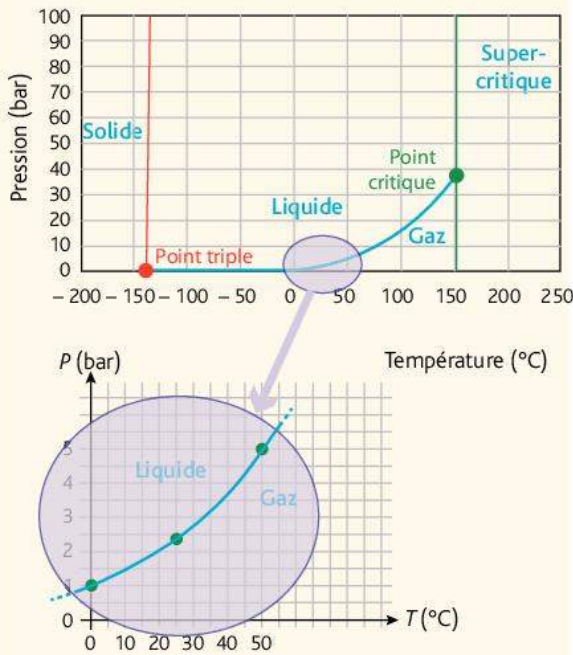
Justifier, en interprétant de manière microscopique, les différences de valeurs dans le tableau ci-dessous :

Molécule	Méthane CH_4	Éthane C_2H_6	Eau H_2O
$L_{\text{vaporisation}}$ (en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	510	489	2 257

2 États du butane Exploitation de courbes

Dans les briquets, à température ambiante de 25°C , le combustible, essentiellement du butane, est sous forme liquide. En effet, celui-ci a été comprimé à une pression d'environ 2,5 bars.

DOC. Diagramme d'état (p, T) du butane.

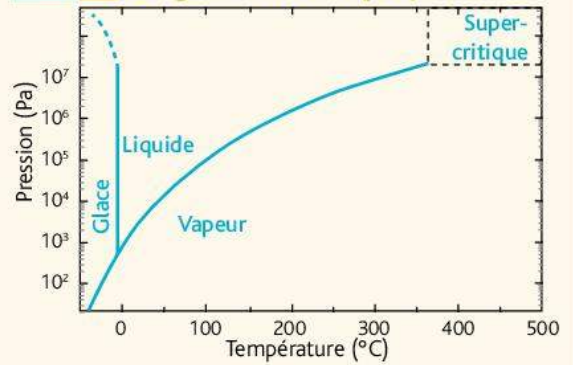


- Placer le point correspondant à l'état du butane à l'intérieur du briquet sur le diagramme ci-contre (sur la partie agrandie).
- L'état physique est-il cohérent avec la photo ?
- En ouvrant la vanne, sous quel état retrouve-t-on le butane ? Schématiser sur le diagramme par une flèche la transformation réalisée à l'ouverture de la vanne.



3 États de l'eau

DOC. Diagramme d'état (p, T) de l'eau.



- Repérer sur le diagramme d'état ci-dessus la zone qui correspond aux différents états de l'eau que l'on peut rencontrer naturellement à la surface de la Terre.
- Indiquer sous quel(s) état(s) on peut trouver l'eau à la surface de Mars, où la pression moyenne vaut 10^2 Pa et où la température varie de -140°C à $+20^\circ\text{C}$.
- Quel paramètre faudrait-il modifier pour avoir une chance de faire bouillir de l'eau sur Mars ? Justifier en utilisant le diagramme d'état.

B Bilan énergétique d'une transformation physique

4 Transfert thermique sans changement d'état

Une bouilloire chauffe 1,0 L d'eau d'une température de 20°C à 90°C .

- Donner l'expression Q de la quantité d'énergie nécessaire pour effectuer ce chauffage. Bien préciser la signification de chacun des termes et leurs unités.
- Calculer Q .
- L'eau a mis 2 minutes et 25 secondes à chauffer. En déduire la puissance de chauffe (en kW) de la bouilloire électrique.

Donnée

$$c_{\text{eau}} = 4 185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

5 Transfert thermique avec changement d'état

On laisse fondre à l'air libre 3 glaçons de 20 g chacun dans un récipient. On suppose que, initialement, les glaçons sont tous à la même température de 0°C .

- Donner l'expression Q de la quantité d'énergie nécessaire pour effectuer ce changement d'état. Bien préciser la signification de chacun des termes et leurs unités.
- Calculer Q .

Donnée

$$L_{\text{fusion}} = 334 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$$



6 Décongélation d'un paquet de soupe

Afin de décongeler lentement un paquet de soupe en brique, on déplace ce paquet de masse $m = 1$ kg du congélateur où la température vaut $\theta_1 = -19$ °C vers le bas du réfrigérateur où la température vaut $\theta_3 = 7$ °C. On considérera pour simplifier la soupe comme de l'eau.

1. Compléter le tableau suivant qui détaille les trois étapes de cette transformation :

Étape	1	2	3
Évolution de la température	... à 0 °C	Temp. constante $\theta_2 = 0$ °C	0 °C à ...
Changement d'état	Aucun	...	Aucun
Énergie échangée	$Q_1 = m \cdot c_{\text{glace}} \cdot (\theta_2 - \theta_1)$	$Q_2 = \dots$	$Q_3 = \dots$
Énergie totale	$Q_{\text{totale}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$		

2. Calculer Q_1 , Q_2 et Q_3 . En déduire l'énergie nécessaire pour réaliser cette transformation.

Données

- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{\text{eau}} = 4\,185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Capacité thermique massique de l'eau solide : $c_{\text{glace}} = 2\,060 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Énergie massique de fusion de l'eau : $L_{\text{fusion}} = 334 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$.

RÉSOLUTION DÉTAILLÉE

1 Lors de la première étape, la masse de 1 kg de glace reçoit une quantité d'énergie thermique Q_1 pour que sa température passe, sans changement d'état, de -19 °C à 0 °C. Il y a ensuite le changement d'état (fusion) qui nécessite une autre quantité d'énergie Q_2 . Puis, l'eau fondue va recevoir une quantité d'énergie Q_3 pour que sa température passe de 0 °C à 7 °C. Même si la température n'évolue pas lors du changement d'état, il y a bien un échange d'énergie à prendre en compte.

Remarque

Même s'il n'est pas explicitement demandé, il est indispensable de faire ce genre de tableau pour chaque système qui voit son énergie interne changer (ici, il n'y a qu'un seul système : le paquet de soupe).

Étape	1	2	3
Évolution de la température	-19 °C à 0 °C	Temp. constante $\theta_2 = 0$ °C	0 °C à 7 °C
Changement d'état	Aucun	Fusion	Aucun
Énergie échangée	$Q_1 = m \cdot c_{\text{glace}} \cdot (\theta_2 - \theta_1)$	$Q_2 = m \cdot L_{\text{fusion}}$	$Q_3 = m \cdot c_{\text{eau}} \cdot (\theta_3 - \theta_2)$
Énergie totale	$Q_{\text{totale}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$		

2 Attention aux unités dans les données ! La capacité thermique massique est en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, on doit donc écrire la masse en kg, la variation de température en K (ou en °C, c'est plus simple puisque c'est une variation). L'énergie calculée sera alors en J que l'on peut convertir en kJ.

$$Q_1 = 1 \times 2\,060 \times (0 - (-19)) = 2\,060 \times 19 = 39\,140 \text{ J} = 39,1 \text{ kJ}$$

$$Q_2 = 1 \times 10^3 \times 334 = 334\,000 \text{ J} = 334 \text{ kJ}$$

$$Q_3 = 1 \times 4\,185 \times (7 - 0) = 29\,295 \text{ J} = 29,3 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{totale}} = 39,1 + 334 + 29,3 = 402,4 \text{ kJ}$$

Aide

Attention, la capacité thermique de l'eau diffère selon que l'eau est liquide ou solide.

À vous de jouer

7 Fonte d'or chez un bijoutier

Un bijoutier fait fondre une masse de 10 g d'or pur dans un creuset. On considère que l'or solide au départ est à une température de 20 °C et que l'or fondu dans le creuset atteint la température maximale de 1 100 °C. Déterminer la quantité d'énergie thermique à apporter pour effectuer cette opération.

Données

- Température de fusion de l'or : $\theta_{\text{fusion}} = 1\,064$ °C.
- Capacité thermique massique de l'or à l'état solide : $c_{\text{sol}} = 0,13 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Capacité thermique massique de l'or à l'état liquide : $c_{\text{liq}} = 0,17 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Énergie massique de fusion de l'or : $L_{\text{fusion}} = 64,9 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.



Exercices

Entraînement

8 Association

» Mobiliser ses connaissances • Analyser

Associer chaque grandeur à la valeur correspondante :

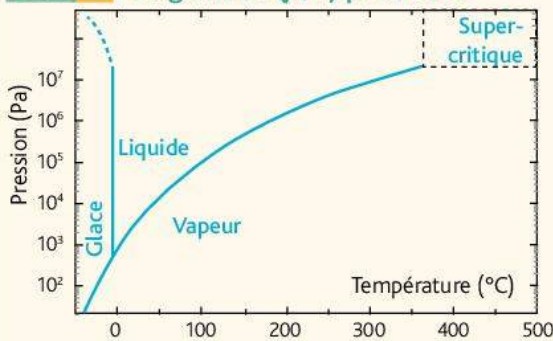
L_{fusion} (eau)	●	●	0 °C
L_{fusion} (éther)	●	●	4 185 J · kg ⁻¹ · K ⁻¹
$L_{\text{solidification}}$ (eau)	●	●	99 kJ · kg ⁻¹
c_{eau}	●	●	2 260 J · kg ⁻¹ · K ⁻¹
$c_{\text{éther}}$	●	●	334 kJ · kg ⁻¹
θ_{fusion} (eau)	●	●	- 334 kJ · kg ⁻¹

9 Cuisson à la vapeur

» Mobiliser ses connaissances • Analyser

On verse 1,5 L d'eau à 21 °C dans une cocotte-minute et on ferme hermétiquement le couvercle. On fait chauffer l'ensemble jusqu'à ce que l'eau se mette à bouillir. La pression à l'intérieur de la cocotte-minute atteint alors 1 800 hPa.

DOC. Diagramme (p, T) pour l'eau



- Repérer sur le diagramme d'état de l'eau ci-dessus l'état initial avant chauffage et l'état final lorsque l'eau est en ébullition.
- Montrer que le changement d'état a lieu à environ 120 °C. Quels sont alors les 2 états de l'eau présents dans la cocotte-minute à cette température ?
- Déterminer l'énergie qu'il a fallu apporter à l'eau liquide pour l'amener jusqu'à la température d'ébullition (sans prendre en compte le changement d'état).
- Seulement 10 % de la quantité d'eau liquide s'est vaporisée lorsqu'on coupe le chauffage. Déterminer la quantité d'énergie qu'il a fallu apporter pour réaliser la vaporisation de cette quantité d'eau liquide.

Données

- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{\text{eau}} = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Énergie massique de vaporisation de l'eau : $L_{\text{vaporisation}} = 2,2 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

10 Dioxyde de carbone supercritique

Application technologique

» Mobiliser ses connaissances • Analyser

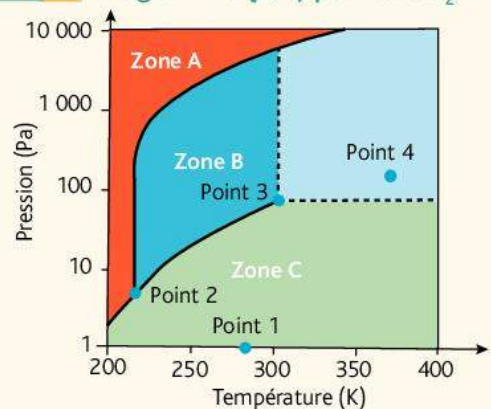
Le CO₂ supercritique est utilisé dans l'industrie comme solvant : il permet par exemple d'extraire la caféine du café afin de le décaféiner. Dès qu'on rabaisse la pression et la température, il redevient un gaz et il disparaît complètement du café, là où une extraction classique laisserait des traces de solvant organique.

INFOS FLASH

En utilisant du CO₂ supercritique, on utilise un gaz jusqu'alors considéré comme un déchet (gaz à effet de serre) !

Utiliser le diagramme d'état suivant du CO₂ pour répondre aux questions.

DOC. Diagramme (p, T) pour le CO₂



- À quoi correspondent les zones A, B et C ?
- Quelles sont les coordonnées du point 1 ? À quoi correspond-il ?
- Comment appelle-t-on le point 2 ? À quoi correspond-il ? Mêmes questions pour le point 3.
- Quelles sont les pressions et températures minimales pour pouvoir utiliser le CO₂ comme solvant supercritique ?
- Repérer par une flèche la transformation nécessaire pour supprimer le solvant d'un aliment (depuis le point 4). Y a-t-il alors un changement d'état ?

11 Prévoir l'apéritif

» Analyser • Réaliser

Afin de préparer l'apéritif qui arrive, M. Rémi remplit un bac à glaçons avec de l'eau liquide prise au robinet, puis il le place dans son congélateur.





L'eau issue du robinet est à la température $\theta_1 = 10\text{ }^\circ\text{C}$. Le bac à glaçons comporte 16 compartiments et on supposera que chaque compartiment contient 10 g d'eau. La température à l'intérieur du congélateur est $\theta_3 = -18\text{ }^\circ\text{C}$.

1. Calculer l'énergie échangée Q_1 par l'eau liquide lors de son passage de θ_1 à $\theta_2 = 0\text{ }^\circ\text{C}$.
2. Calculer l'énergie échangée Q_2 par l'eau liquide lors du changement d'état.
3. Comment appelle-t-on la transformation dont il est question à la question précédente ? Cette transformation absorbe-t-elle de l'énergie ou en libère-t-elle ?
4. Calculer l'énergie échangée Q_3 par la glace pour passer de $\theta_2 = 0\text{ }^\circ\text{C}$ à θ_3 .

Données

- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{\text{eau}} = 4\,185\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- Capacité thermique massique de l'eau solide : $c_{\text{glace}} = 2\,060\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- Énergie massique de fusion de l'eau : $L_{\text{fusion}} = 334\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

12 Faire fondre un glaçon avec un sèche-cheveux

» Analyser • Réaliser

On utilise un sèche-cheveux de puissance $P = 2\,000\text{ W}$ pour réchauffer un bloc de glace de 1 000 g initialement à $0\text{ }^\circ\text{C}$. En supposant que toute l'énergie fournie par le sèche-cheveux est absorbée par la glace, combien de temps durera la fonte ?

Donnée

Énergie massique de fusion de l'eau : $L_{\text{fusion}} = 334\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

13 Faire fondre de l'aluminium grâce au Soleil

» Analyser • Réaliser

Lors d'une émission de télévision, deux expérimentateurs ont réussi à faire fondre en 10 s environ 10 g d'aluminium à l'aide d'une lentille de Fresnel qui focalisait les rayons solaires. Estimer la température atteinte au point focal ainsi que la puissance de chauffe de leur système.

Lien vidéo

Creating a Sun-Powered Death Ray (3 min 46)

Données

- Capacité thermique massique de l'aluminium : $c_{\text{Al}} = 0,90\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- Température de fusion de l'aluminium : $660\text{ }^\circ\text{C}$.
- Énergie massique de fusion de l'aluminium : $L_{\text{fusion}} = 0,40 \times 10^3\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

14 Refroidir son thé

» Analyser • Réaliser

Pour refroidir 100 mL de thé à une température initiale de $90\text{ }^\circ\text{C}$, on introduit un glaçon de 20 g (supposé à la température de $0\text{ }^\circ\text{C}$). On considèrera le thé comme de l'eau.

Parcours A

Le thé est-il buvable (ou sa température est-elle inférieure à $70\text{ }^\circ\text{C}$) ?

Parcours B

On note θ_f la température finale atteinte par le mélange.

1. On considère le système {eau du thé}. Donner l'expression de la quantité d'énergie Q_1 libérée lors de la baisse de température de $\theta_i = 90\text{ }^\circ\text{C}$ à θ_f .
2. On considère le système {eau du glaçon}.
 - a. Donner l'expression de la quantité d'énergie Q_{fusion} reçue lors de la fusion du glaçon à $\theta_{\text{fusion}} = 0\text{ }^\circ\text{C}$.
 - b. Donner l'expression de la quantité d'énergie Q_2 reçue lors de la hausse de température de $\theta_{\text{fusion}} = 0\text{ }^\circ\text{C}$ à θ_f .
3. Écrire la relation entre Q_1 , Q_{fusion} et Q_2 qui résulte de la conservation de l'énergie en supposant que les échanges d'énergie ne se font qu'entre le thé et les glaçons.
4. En déduire l'expression de la température finale du mélange θ_f . La calculer et conclure.

Données

- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{\text{eau}} = 4,2\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- Énergie massique de fusion de l'eau : $L_{\text{fusion}} = 334\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

15 Rayonnement d'une piscine extérieure

» S'approprier • Analyser • Réaliser

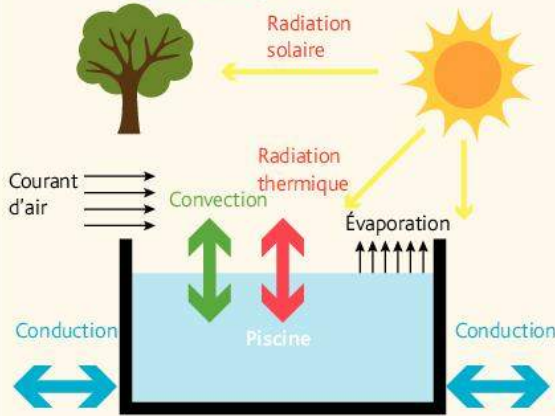
Un particulier souhaite évaluer les apports et les pertes d'énergie par rayonnement pour le chauffage ou le refroidissement de l'eau de sa piscine.

Donnée

Caractéristiques de la piscine

Bassin extérieur 10 m \times 4,0 m \times 1,5 m rempli d'eau (considérée comme de l'eau pure).

DOC. 1 Différentes pertes thermiques au sein d'une piscine.



1. Citer les 3 modes de transferts thermiques mis en évidence dans le doc. 1.
2. Calculer l'énergie nécessaire pour augmenter la température de l'eau de la piscine de 1 °C.

Donnée

Capacité thermique massique de l'eau :
 $c_{\text{eau}} = 4,2 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

3. En supposant que durant les 12 h de la journée l'eau de la piscine se réchauffe grâce au rayonnement solaire, déterminer la quantité d'énergie Q_1 reçue quotidiennement par l'eau.

Donnée

Puissance thermique moyenne reçue par rayonnement : $P_{\text{surf}} = 150 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

4. En déduire l'augmentation de température $\Delta\theta_1$ associée (on négligera toutes les autres pertes).
5. Durant les 12 h de la nuit, l'eau de la piscine, initialement à 24 °C, rayonne de l'énergie vers l'extérieur. Déterminer la puissance surfacique P_2 rayonnée grâce à la loi de Stefan : $P = \sigma \cdot T_4$ avec σ une constante qui vaut $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ et T la température en K. Déterminer alors la quantité d'énergie Q_2 perdue quotidiennement par l'eau.
6. En déduire l'augmentation de température $\Delta\theta_2$ associée (on négligera toutes les autres pertes). Commenter.

16 Rendement d'une chaudière à condensation Application technologique

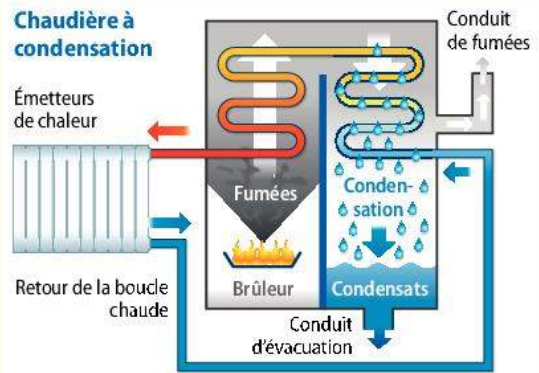
» S'approprier • Analyser • Réaliser

Une chaudière libère de l'énergie thermique grâce à la combustion de gaz ou de bois. Il est possible de déterminer le rendement d'une chaudière en calculant le rapport de la quantité d'énergie ther-

mique libérée sur la quantité d'énergie chimique contenue dans le combustible.

Sur les anciennes chaudières, les gaz produits par la combustion sont évacués à une température de 200 °C environ. Dans les chaudières à condensation, ces derniers ne sortent qu'à 50 °C environ. En effet, une partie de l'énergie thermique de ces gaz d'échappement est récupérée pour condenser la vapeur d'eau formée, améliorant alors le rendement du système. De l'eau liquide est alors évacuée à une température d'environ 20 °C. On considère la combustion de 1,00 kg de butane. On cherche à déterminer la quantité d'énergie thermique supplémentaire apportée par les chaudières à condensation par rapport aux chaudières classiques.

DOC. 1 Schéma de principe d'une chaudière à condensation.



Données

- 1 kg de butane libère 50 MJ d'énergie thermique.
- La masse d'eau produite lors de la combustion vaut environ $m_{\text{eau}} = 2,25 \text{ kg}$.
- Capacité thermique massique de la vapeur d'eau : $c_{\text{vapeur}} = 1,4 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{\text{eau}} = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Énergie massique de vaporisation de l'eau : $L_{\text{vaporisation}} = 2,25 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- Température d'ébullition de l'eau : 100 °C.

1. Déterminer la quantité d'énergie récupérée lors du refroidissement des vapeurs d'eau de 200 °C à 100 °C.
2. Déterminer la quantité d'énergie récupérée lors de la condensation des vapeurs d'eau.
3. Déterminer la quantité d'énergie récupérée lors du refroidissement de l'eau liquide de 100 °C à 50 °C.
4. En déduire la quantité totale d'énergie récupérée dans les chaudières à condensation grâce au refroidissement de l'eau. À quel pourcentage de l'énergie libérée cela correspond-il ? En quoi le rendement est-il alors amélioré ?

17 Expérience autour de la fusion de la paraffine

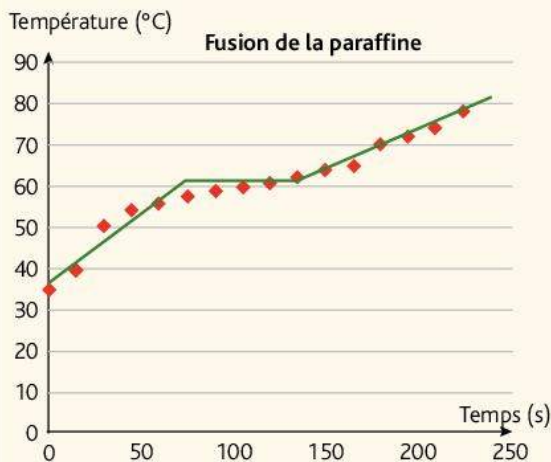


Dans le cadre d'un projet sur le stockage d'énergie thermique dans les matériaux innovants, un groupe d'élèves réalise une expérience avec une petite quantité de paraffine solide. Ce matériau à changement de phase (MCP) est désormais utilisé pour la construction.

DOC. 1 Protocole.

- Introduire 10 g de paraffine solide dans un tube à essai muni d'un thermomètre.
- Chauffer l'ensemble au bec électrique jusqu'à ce que toute la paraffine soit fondue.
- Refroidir l'ensemble de façon à ce que le thermomètre reste emprisonné dans la paraffine de nouveau solidifiée.
- Placer le tube à essai dans un bain-marie d'eau à 35 °C et réchauffer l'ensemble à l'aide d'une plaque chauffante.
- Relever la température toutes les 15 s pendant 4 minutes.
- À l'aide d'un tableur, représenter l'évolution de la température au cours du temps.

DOC. 2 Courbe obtenue par deux élèves en binôme.



Données

- Capacité thermique massique de la paraffine liquide : $c_{\text{liquide}} = 2,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Capacité thermique massique de la paraffine solide : $c_{\text{solide}} = 3,0 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

» S'approprier • Analyser • Réaliser • Valider

1. Repérer sur le graphique les trois parties distinctes. À quoi correspondent-elles ? Bien préciser dans quel état se trouve la paraffine sur chaque partie.
2. À partir du graphique, déduire la température de fusion de la paraffine.
3. Déterminer la quantité d'énergie reçue par la paraffine pendant la première partie.
4. Combien de temps dure cette première partie ? En déduire la puissance de chauffe du dispositif.
5. Combien de temps dure la deuxième partie ? En déduire la quantité d'énergie reçue par la paraffine pendant cette partie.
6. En déduire la valeur expérimentale L_{fusion} de l'énergie massique de fusion de la paraffine. Les 8 binômes de TP ont regroupé leurs résultats dans un tableau :

Groupe n°	L_{fusion} ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)
1	65
2	71
3	72
4	68
5	69
6	62
7	55
8	73

7. **Maths** Déterminer la valeur moyenne puis l'écart-type σ de cette série de mesures.
8. **Maths** Évaluer l'incertitude-type $u(L_{\text{fusion}})$ par une méthode statistique en utilisant la formule ci-dessous :

$$u(L_{\text{fusion}}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

avec n le nombre de mesures.

Mesure et incertitudes

9. La valeur de référence vaut $L_{\text{fusion}} \approx 140 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Évaluer le nombre d'incertitudes-types séparant le résultat expérimental de la valeur de référence. Commenter.

Mini-projet d'application

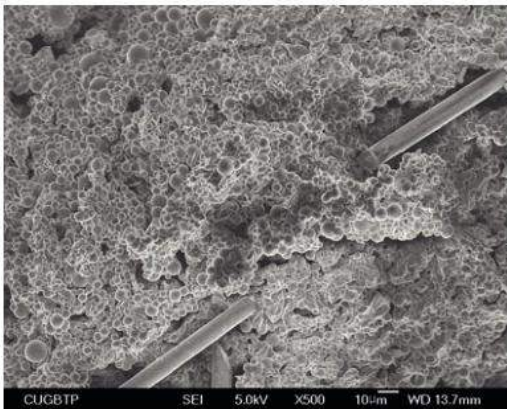
Comment réaliser une isolation thermique avec des matériaux à changement de phase ?



Cahier des charges à suivre

- ➔ Choisir un matériau qui peut fondre à une température proche de la température ambiante.
- ➔ Mesurer les variations de températures lorsqu'on chauffe de la même manière ce matériau et un même échantillon d'eau liquide.

DOC. 1 MCI Technologies : une société commercialisant des matériaux à changement de phase.



Grossissement $\times 1\,000$ des microcapsules INERTEK

En 2008, la société MCI Technologies s'est lancée dans un vaste programme de recherche et développement sur les Matériaux à Changement de Phase (MCP) microencapsulés. Le principe de la microencapsulation est de former une enveloppe résistante autour de microparticules de matériau à changement de phase. Les microcapsules INERTEK, d'une taille de 5 à 25 μm , s'incorporent à d'autres produits : enduits, plaques de plâtre, isolants, textiles techniques, etc. Les microcapsules INERTEK sont disponibles sous 2 formes : **Poudre** ou **Slurry**.



Produit	Fusion	Plage de changement d'état		Capacité de stockage total*
		Solidification		
INERTEK 23	Slurry	23-27 °C	23-18 °C	220 $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ (61 $\text{Wh} \cdot \text{kg}^{-1}$)
	Poudre	23-27 °C	23-18 °C	200 $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ (56 $\text{Wh} \cdot \text{kg}^{-1}$)

*en combinant énergie massique de fusion et capacité thermique massique sur la plage de température

DOC. 2 Quelques données.

	Eau	Paraffine	Cire
Densité	1	0,9	0,95
Capacité thermique massique en phase solide ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	2,1	2,95	3,43
Température de fusion (°C)	0	55	65
Énergie massique de fusion ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)	330	146	146

Vers le grand oral

Réaliser une vidéo explicative répondant à la problématique.

S'appropriier le projet avant de commencer

- 1 Comparer les quantités d'énergie accumulées par 1 kg d'eau, de cire ou de paraffine lors d'une élévation de température de 30 à 80 °C.
- 2 Sur la plage de température 30 - 80 °C, quelle propriété physique possède la cire ou la paraffine et que n'a pas l'eau liquide ?

Se préparer et réviser les acquis de 1^{re}

Pour l'enseignant

↓ Diaporama des questions flash

Questions flash



CORRIGÉS p. 300-304

Pour chaque question, trouver la ou les bonnes réponses.

- 1 Une forme d'énergie donnée peut être...
 - a. obtenue par conversion d'une autre forme d'énergie.
 - b. créée ou détruite.
 - c. convertie sous une autre forme d'énergie.
- 2 Une énergie est qualifiée de « renouvelable » si...
 - a. elle est en quantité suffisante pour une durée de vie humaine.
 - b. son renouvellement naturel est assez rapide sur une durée de vie humaine.
 - c. elle provient de centrales de production d'énergie qui ont été rénovées.
- 3 Parmi tous les domaines des ondes électromagnétiques, les rayons gamma correspondent aux...
 - a. énergies les plus élevées.
 - b. énergies les plus faibles.
 - c. ondes ultrasonores.
- 4 Un élément chimique est caractérisé par...
 - a. son nom, comme « hydrogène » ou « uranium ».
 - b. son numéro atomique Z , donc son nombre de protons.
 - c. le nombre de masse A , donc le nombre total de nucléons.
- 5 Deux éléments chimiques sont des isotopes s'ils possèdent...
 - a. le même nombre de protons, mais pas le même nombre de neutrons.
 - b. le même nombre de neutrons, mais pas le même nombre de protons.
 - c. le même numéro atomique Z , mais pas le même nombre de masse A .

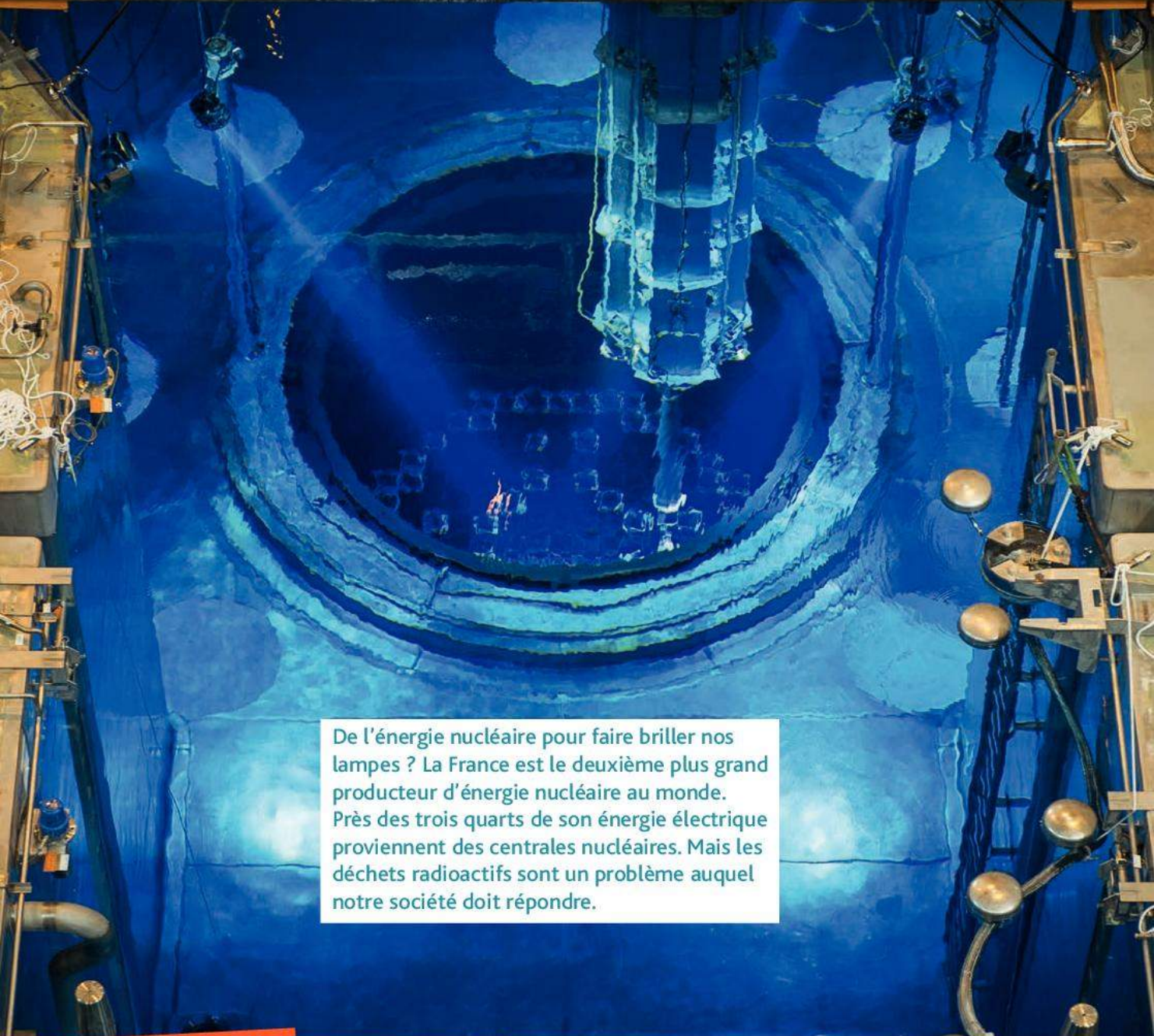
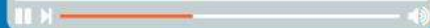
Capacités exigibles

- Distinguer radioactivité naturelle et radioactivité artificielle. **Activités 1 2**
- Citer les différents types de rayonnement radioactif. **Activité 2**
- Citer la définition de l'activité d'une source radioactive. **Activités 1 3**
- Distinguer une réaction de fission d'une réaction de fusion. **Activité 4**
- Déterminer la valeur du défaut de masse lors d'une réaction nucléaire. **Activité 4**
- Calculer l'énergie libérée lors d'une réaction nucléaire, le défaut de masse étant connu. **Activité 4**

L'énergie nucléaire



Fonctionnement
d'une centrale
nucléaire-1
(1 min 35)



De l'énergie nucléaire pour faire briller nos lampes ? La France est le deuxième plus grand producteur d'énergie nucléaire au monde. Près des trois quarts de son énergie électrique proviennent des centrales nucléaires. Mais les déchets radioactifs sont un problème auquel notre société doit répondre.

Liens avec les maths

- Fonction exponentielle. **Activités** 3 4
- Propriétés algébriques. **Activité** 4
- Représentation graphique. **Activités** 3 4

Activités



- 1 Les nouveaux rayons
- 2 La radioactivité : naturelle ou artificielle ?
- 3 Comment évolue une population de noyaux qui se désintègrent ?
- 4 Comment décrire l'activité d'une population de noyaux ?

documentaire

documentaire

expérimentale

expérimentale

1 Les nouveaux rayons

ACTIVITÉ 1

Capacités

- Distinguer radioactivité naturelle et radioactivité artificielle.
- Citer la définition de l'activité d'une source radioactive.

Objectif

Interpréter l'activité intense d'un minéral radioactif, la pechblende.

Tout commence en 1896, lorsque Henri Becquerel (1852-1953) pense que les matériaux phosphorescents émettent des rayons X.



DOC. 1 Un phénomène inattendu.

Becquerel pose un cristal phosphorescent de sulfure d'uranium et de potassium sur une plaque photographique enveloppée de papier opaque, pendant plusieurs heures.



De 1896 à 1899, ses expériences montrent que :

- la plaque photographique se noircit, même si le cristal n'est plus phosphorescent ;
- l'effet est très intense avec l'uranium extrait du cristal, mais il est très faible avec ce qui reste du cristal.

Becquerel en conclura que l'uranium émet des rayons invisibles, qu'il nomme « rayons uraniques ».

DOC. 2 La radioactivité.

En 1897, Marie Curie (1867-1934), née Sklodowska, et Pierre Curie (1859-1906) constatent que la pechblende, un minerai contenant de l'uranium et du thorium, rayonne plus intensément que l'uranium seul. Ils découvrent dans ce minerai deux nouvelles substances rayonnantes : le polonium et le radium. Ils rebaptisent « radioactivité » la propriété découverte par Becquerel.



Ils observent que l'activité du polonium diminue avec le temps, car son rayonnement faiblit. D'autres substances émettent un rayonnement constant. Ainsi, l'activité de l'uranium semble toujours la même.

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **S'approprier** Indiquer les rôles attribués par Becquerel aux éléments de son expérience en choisissant dans la liste suivante : émettre des rayons X, rendre le cristal phosphorescent, protéger le détecteur contre la lumière, détecter les rayons X.

Éléments	Rôles supposés
Lumière du Soleil	
Cristal phosphorescent	
Plaque photographique	
Papier opaque	

2 » **Analyser • Communiquer** Proposer le raisonnement qu'a pu suivre Becquerel pour arriver à sa conclusion.

3 » **S'approprier • Communiquer** L'expression « rayons uraniques » n'est plus utilisée, alors que le terme de « radioactivité » est très répandu. Proposez une explication.

4 » **S'approprier • Communiquer** D'après les expériences des époux Curie, les substances radioactives les restent-elles indéfiniment ? Argumentez en quelques lignes.

Conclusion

Pourquoi la comparaison de l'intensité du rayonnement de la pechblende et de celle de l'uranium semble-t-elle aboutir à un paradoxe ? Proposer une interprétation.

La radioactivité : naturelle ou artificielle ?

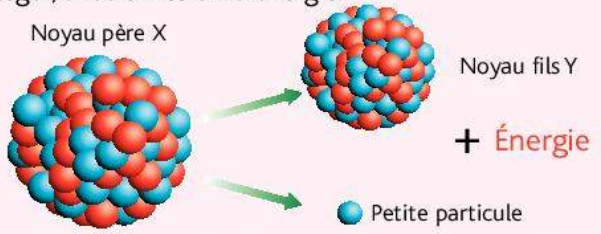
- Capacités**
- Distinguer radioactivité naturelle et artificielle.
 - Citer les différents types de rayonnement radioactif.

Objectif Déterminer en quoi la radioactivité peut être nuisible ou utile.

La radioactivité naturelle désigne les rayonnements cosmiques ou terrestres provenant en permanence de notre environnement. On parle de radioactivité artificielle lorsque les isotopes sont créés par l'être humain.

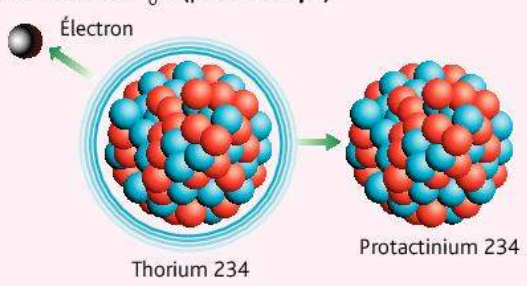
DOC. 1 La désintégration radioactive.

Il existe trois principaux modes de désintégration radioactive : α , β ou γ . Au cours d'une désintégration radioactive, un noyau père X émet spontanément une petite particule et devient un noyau fils Y plus léger, avec émission d'énergie.

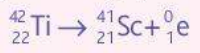


La désintégration β existe sous deux formes : β^- ou β^+ .

Lors d'une désintégration β^- , le noyau père émet un électron, noté ${}^0_{-1}e$ (particule β^-).



Lors d'une désintégration β^+ , le noyau père émet un positon, noté ${}^0_{+1}e$ (particule β^+).



DOC. 2 Radioactivité naturelle.

De nombreux éléments se trouvent sous forme d'isotopes radioactifs à l'état naturel, comme le radon 222, un gaz responsable de la majorité des rayonnements ambiants. D'autres isotopes radioactifs naturels sont l'uranium 238 ou le carbone 14. Le carbone 14 est présent naturellement dans les êtres vivants. Il peut être utilisé pour dater l'époque d'un décès.

DOC. 3 Radioactivité artificielle.

Les isotopes radioactifs artificiels sont produits par les centrales nucléaires ou les accélérateurs de particules. Ils sont aussi employés en imagerie médicale ou pour certains traitements de cancers.

- Le césium 137 est un émetteur β^- qui n'existe pas à l'état naturel. En tant que déchet nucléaire de durée de vie moyenne ($T_{1/2} = 30$ ans), il doit être placé dans des sites de stockage.



- Le fluor 18 est un émetteur β^+ à durée de vie courte ($T_{1/2} = 110$ min) utilisé dans la Tomographie par émission de positons. Cette méthode permet d'obtenir des image 3D des organes.



DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

- 1 **S'approprier** Comparer la masse du noyau père et du noyau fils (Doc. 1).
- 2 **S'approprier** Nommer tout ce qui est émis lors des différentes désintégrations (Doc. 1).

- 3 **Analyser** Pourquoi les accélérateurs de particules qui synthétisent le fluor 18 doivent-ils se trouver sur le lieu de son utilisation ? (Doc. 3)

Conclusion

Expliquer en quoi la radioactivité naturelle ou artificielle est nuisible ou utile. (Docs. 2 et 3)

Comment évolue une population de noyaux qui se désintègrent ?



Capacité Citer la définition de l'activité d'une source radioactive.

Objectif du TP Décrire l'évolution d'une population d'isotopes radioactifs, à l'aide d'un modèle.

La désintégration d'un noyau radioactif est un phénomène aléatoire, donc imprévisible. Pourtant, la décroissance d'une population de tels noyaux est modélisable mathématiquement par une fonction exponentielle décroissante.

MATÉRIEL

– Un PC avec un logiciel Python.

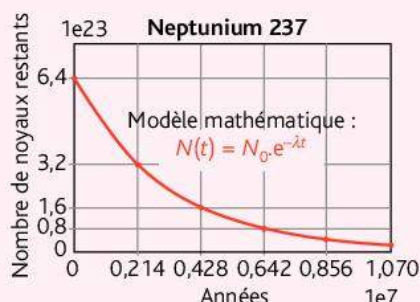
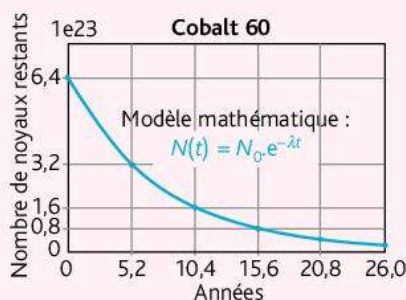
Fiche méthode 13, p. 291.

ÉTAPE 1 Évolution d'une population de cobalt 60 ou de neptunium 237

Le cobalt 60 et le neptunium 237 sont deux radioisotopes produits dans les centrales nucléaires. Leurs symboles sont : ${}_{27}^{60}\text{Co}$ et ${}_{93}^{237}\text{Np}$.

En partant d'un même nombre initial de noyaux $N_0 = 6,4 \cdot 10^{23}$, on modélise les évolutions de leurs populations par les courbes suivantes.

DOC. Évolutions des populations de cobalt 60 et de neptunium 137.



Liens avec les maths

- « $1e23$ » et « $1e7$ » signifient respectivement « 1×10^{23} » et « 1×10^7 ».
- Les modèles (ou fonctions) mathématiques sont indiqués dans la zone graphique.
- $e^{-\lambda t}$ représente la fonction exponentielle décroissante, où t est la variable « temps ».
- λ_1 et λ_2 sont des paramètres nommés constantes radioactives (unité : s^{-1}).

1. Indiquer les différences et les points communs entre les zones graphiques : allures des courbes, évolutions du nombre de noyaux restants, graduations des axes, fonctions mathématiques, etc.

ÉTAPE 2 Notion de demi-vie

La demi-vie $T_{1/2}$ (ou période radioactive) est la durée au bout de laquelle une population d'isotopes est divisée par deux.

2. Ouvrir le programme [NombreNoyauxRadio.py](#).

- Relever les demi-vies du tritium et de l'uranium 235 indiquées en début de programme.
- Modifier 4 lignes dans « Paramètres modifiables » afin que l'isotope 1 soit le cobalt 60 et l'isotope 2 le neptunium 237. Lancer ensuite le programme.

3. Que se passe-t-il au bout de chaque demi-vie ? Après combien de demi-vies la population est-elle divisée par 8 ?
4. Commenter et justifier avec soin les différences d'allure des courbes des graphiques 3 et 4.
5. Calculer la constante radioactive de chacun des deux isotopes.
6. Comment vérifier que les deux valeurs trouvées précédemment sont correctes ?

Appeler l'enseignant pour vérifier.

Conclusion du TP

Décrire l'évolution d'une population d'isotopes radioactifs identiques, en utilisant la demi-vie puis en faisant appel à la fonction mathématique adaptée.



Données

La constante radioactive λ d'un isotope se calcule par : $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$
(en s^{-1} , si $T_{1/2}$ est en s).

Comment décrire l'activité d'une population de noyaux ?

Capacités

- Distinguer une réaction de fission d'une réaction de fusion.
- Déterminer la valeur du défaut de masse lors d'une réaction nucléaire.
- Calculer l'énergie libérée lors d'une réaction nucléaire, le défaut de masse étant connu.



1 h 30

Objectif du TP

Utiliser un modèle mathématique pour faire des choix dans la gestion des déchets nucléaires.

La fonction exponentielle décroissante est le modèle mathématique décrivant le nombre de désintégrations par seconde d'un isotope radioactif. En quoi ce modèle mathématique contribue-t-il à la gestion des déchets nucléaires ?

MATÉRIEL

– Un PC avec un logiciel Python.

Fiche méthode 11, p. 291.

ÉTAPE 1 Activités de deux isotopes radioactifs

Le tritium se forme dans l'eau contenant un réacteur nucléaire. L'uranium 235 est l'isotope qui va subir la réaction de fission et libérer de l'énergie, dans les centrales nucléaires.

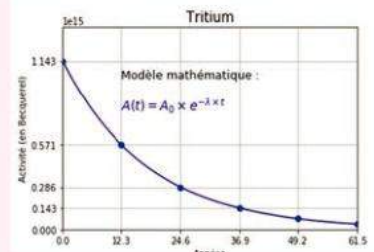
1. Ouvrir puis lancer le programme [ActivitesNoyaux.py](#).

DOC. Écran Pyhton



```
## PARAMETRES MODIFIABLES #####
N0=6.4e23 # Nombre initial de noyaux :
# Noms des isotopes :
Isotope1="Tritium"
Isotope2="Uranium 235"
# Valeurs des demi-vies :
Td_1=12.3 # demi-vie de l'isotope 1, en années
Td_2=703800 # demi-vie de l'isotope 2, en années
#####
def TracerGraphe(k,Isotope,Td,A0,Couleur):
    print('#####')
    print("## Graphique ",k," #####")
    print("### Activité - Isotope :", Isotope, " ##")
    print('.')
    print('Nombre initial de noyaux =', N0)
    print('Demi-vie =', str(Td), 'ans')
    print("Activité à t=0 : %.3E%(A0), 'Becquerel')
```

```
## Graphique 1 #####
### Activité - Isotope : Tritium ###
Nombre initial de noyaux = 6.4e+23
Demi-vie = 12.3 ans
Activité à t=0 : 1.143E+15 Becquerel
```



L'activité est le nombre de désintégrations par seconde dans une population donnée d'isotopes radioactifs. Elle s'exprime en becquerels (Bq), sachant que 1 Bq = 1 désintégration par seconde. L'activité initiale A_0 se calcule par la relation : $A_0 = N_0 \cdot \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$ (en Bq, si $T_{1/2}$ est en secondes).

2. Pour chacun des deux isotopes, relever : le nombre initial de noyaux, la demi-vie, l'activité initiale. Voir ci-dessus, pour le cas du tritium.
3. Retrouver par le calcul les activités initiales A_0 des deux isotopes.
4. Comment évolue l'activité de chaque isotope en fonction du nombre de demi-vies ?
5. Corriger au brouillon l'affirmation suivante, puis la recopier au propre : « Parmi les deux exemples, l'isotope radioactif qui émet le plus longtemps est celui ayant l'activité la plus élevée. »

ÉTAPE 2 La gestion des déchets nucléaires

En France, des sites spécifiques permettent de stocker les déchets nucléaires. On peut recycler une fois l'uranium 235 résiduel. Puis, l'uranium 235 qui n'est plus recyclable est enfoui dans le sol. Une centrale de 1 300 MW produit environ 0,05 g de tritium par an (0,15 à 0,20 kg formé dans l'atmosphère). Le tritium est donc dilué par rejet dans les cours d'eau.

6. Donner deux raisons expliquant la politique de recyclage de l'uranium 235 en France.
7. Le tritium n'est pas stocké dans les sites de déchets nucléaires. Proposer une explication à l'aide de deux raisons.



Aide

Quelles informations le modèle mathématique donne-t-il sur l'activité actuelle et future de l'isotope ?

Conclusion du TP

Comment le modèle mathématique de l'activité $A(t)$ permet de gérer l'uranium 235 non recyclable ?

La radioactivité

Lien vidéo Émissions radioactives et chambre à brouillard

Lien vidéo Fonctionnement d'une centrale nucléaire-2 (2 min 39)

1 Les isotopes radioactifs

- Des noyaux **isotopes** possèdent le même nombre de protons mais pas le même nombre de **nucléons**.

Exemple :

Le carbone 12 et le carbone 13 sont deux isotopes du carbone. Symboles : $^{12}_6\text{C}$ et $^{13}_6\text{C}$.

- Les isotopes **radioactifs** sont **instables** : tôt ou tard, ils se désintègrent spontanément.

Exemple :

Le carbone 14, l'uranium 238.

2 La radioactivité : phénomène naturel ou artificiel ?

- Nous recevons en permanence des rayonnements de notre galaxie et de la Terre : c'est la **radioactivité naturelle**. Sur Terre, ils proviennent de désintégrations d'isotopes radioactifs naturels.

Exemple :

Le carbone 14, le radon 222, l'uranium 238.

Pictogramme signalant une source de rayonnements (radioactivité ou rayons X) :



- La **radioactivité artificielle** est due aux isotopes créés par les centrales nucléaires ou les accélérateurs de particules (photo).

Exemple :

Le fluor 18, le césium 137. La radioactivité artificielle peut être nuisible ou utile (médecine, ...).



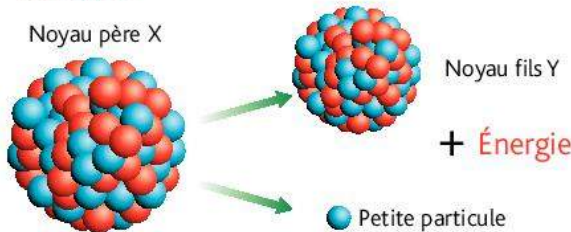
INFOS FLASH

On peut voir une carte de la radioactivité sur toute la France sur le site : <https://www.mesure-radioactivite.fr>

3 Désintégrations radioactives

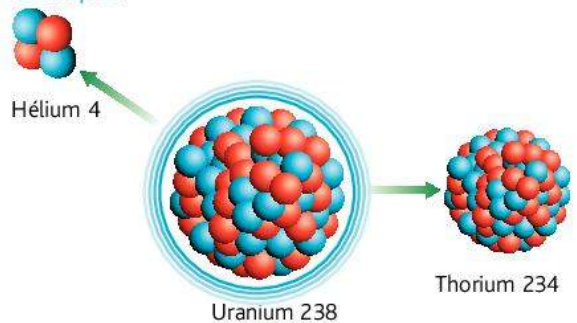
- Principe de la désintégration radioactive : un noyau **instable** se désintègre spontanément en un noyau plus léger, avec émission d'une petite particule et libération d'énergie.

Exemple :



- **Désintégration α** : émission d'un noyau d'hélium 4 (particule α), noté ^4_2He .

Exemple :

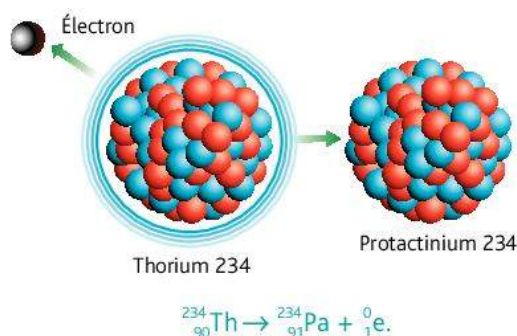


- Il existe **trois principaux modes de désintégrations radioactives** : α , β (- ou +) ou γ .

Lien vidéo Radioactivité alpha (2 min 15)

→ **Désintégration β^-** : Le noyau père X émet un électron (particule β^-) noté ${}_{-1}^0e$.

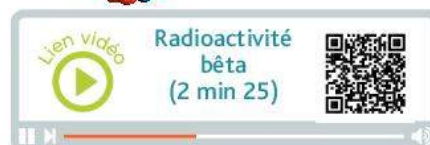
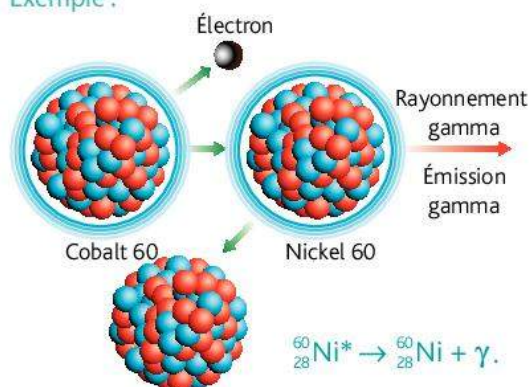
Exemple :



→ **Désintégration β^+** : Le noyau père X émet un électron (particule β^+) noté ${}_{+1}^0e$.

→ **Désintégration γ** : Le noyau père X^* libère un excès d'énergie sous forme de photons γ .

Exemple :



4 Propriétés des réactions nucléaires

- Propriétés des réactions nucléaires :
 - La somme des nombres de masse A se conserve.
 - La somme des numéros atomiques Z se conserve.

- Énergie d'un photon, relation de Planck-Einstein : $E = \frac{hc}{\lambda}$.
Unités : E en J, λ en m, $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J·s, et $c = 3,00 \times 10^8$ m·s $^{-1}$.

B Loi de décroissance radioactive

COURS

1 Évolution du nombre de noyaux

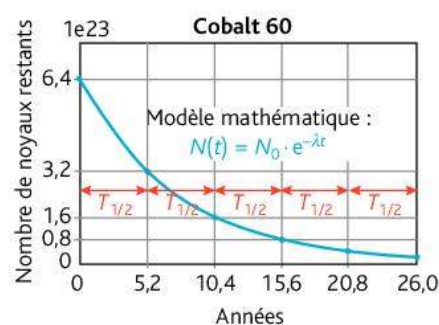
- Modélisation de l'évolution du nombre de noyaux d'un isotope radioactif :

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$
 N_0 : nombre de noyaux de l'isotope à $t = 0$.
 λ : constante radioactive de l'isotope.
- **Demi-vie $T_{1/2}$** : durée pendant laquelle la moitié des noyaux d'un isotope s'est désintégrée.

Exemple : Demi-vie du cobalt 60 : $T_{1/2} = 5,2$ ans. Sa population est divisée par 2 tous les 5,2 ans. Constante radioactive du cobalt 60 :

$$\lambda = 1,33 \times 10^{-11} \text{ an}^{-1} \text{ ou } \lambda = 4,2 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$$

- Relation entre $T_{1/2}$ et λ : $\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$. Unités : $T_{1/2}$ en s, λ en s $^{-1}$ (ou l'unité inverse de celle de $T_{1/2}$).



2 Activité

- **Activité** : nombre de désintégrations par seconde dans un échantillon radioactif. Unité : le Becquerel (Bq) : 1 Becquerel = 1 désintégration par seconde.

- **Modélisation** de l'activité d'un échantillon d'un isotope radioactif : $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$.
 A_0 : activité initiale de l'échantillon (en Bq).
 λ : constante radioactive de l'isotope (en s $^{-1}$).

C La production d'énergie nucléaire

COURS

1 Évolution du nombre de noyaux

- Au cours d'une réaction nucléaire, une partie de la matière est **transformée** en énergie.

Soit une réaction nucléaire :
 $A + B \rightarrow C + D$
 Réactifs Produits

- Masse perdue ou « **défaut de masse** » :

$$m_d = m_i - m_f$$

m_i : masse totale initiale (réactifs)

m_f : masse totale finale (produits).

- Énergie libérée** : $E = m_d \cdot c^2$.

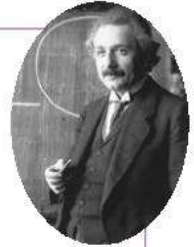
Unités : E en J, m_d en kg et $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

Unité d'usage : le MeV (mégaélectronvolt) :

$$1 \text{ MeV} = 1,60 \cdot 10^{-13} \text{ J.}$$

INFOS FLASH

Les théories d'Einstein, dont le fameux $E = mc^2$, n'ont pas fini d'avoir des conséquences encore aujourd'hui. En 2015, les ondes gravitationnelles prédites par sa théorie de la relativité ont été mesurées pour la première fois.



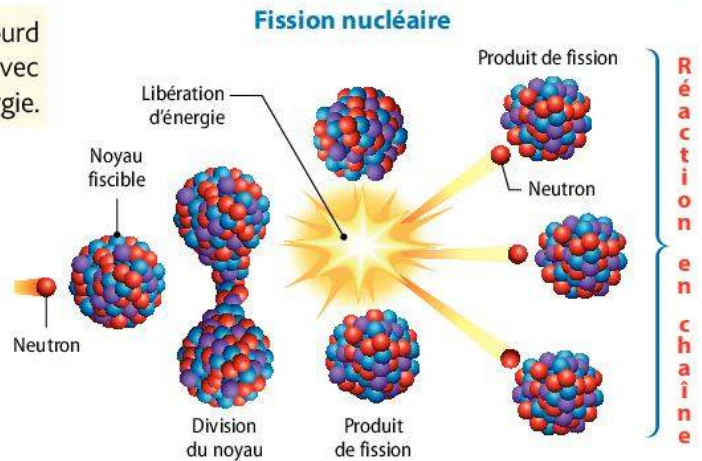
2 Fission nucléaire

- Fission nucléaire** : rupture d'un noyau lourd en deux noyaux de masses différentes, avec émission de neutrons et libération d'énergie.

Exemple :



Énergie libérée : $E = 171 \text{ MeV}$.



3 Fusion nucléaire

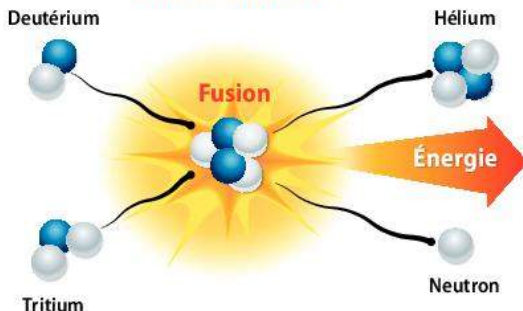
- La **fusion** de deux noyaux légers donne un noyau plus lourd, avec libération d'énergie.

Exemple :

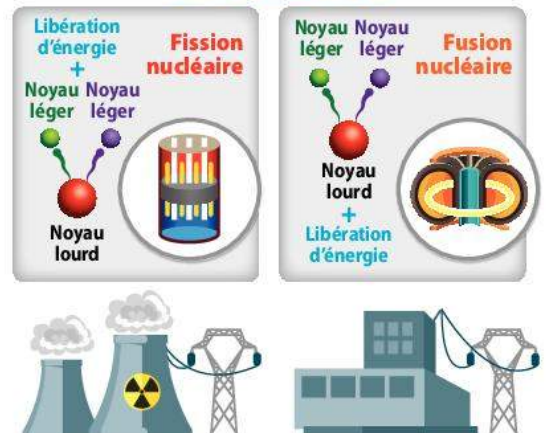


Énergie libérée : $E = 17,6 \text{ MeV}$.

Fusion nucléaire

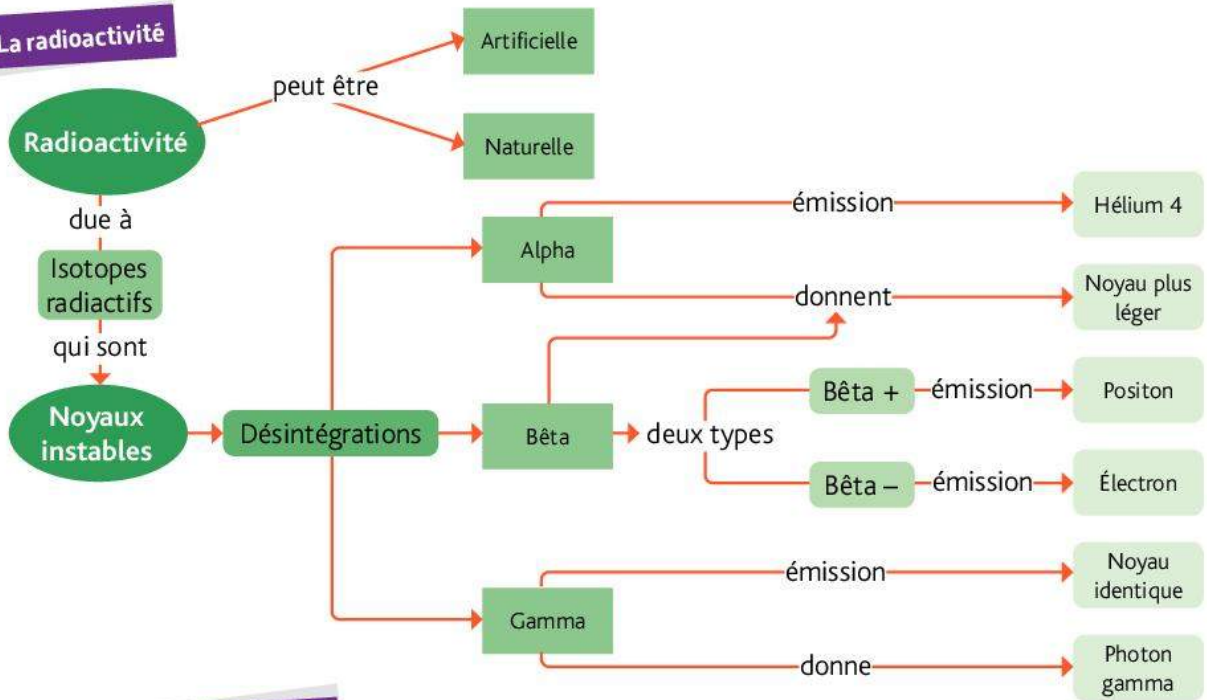


Énergie nucléaire

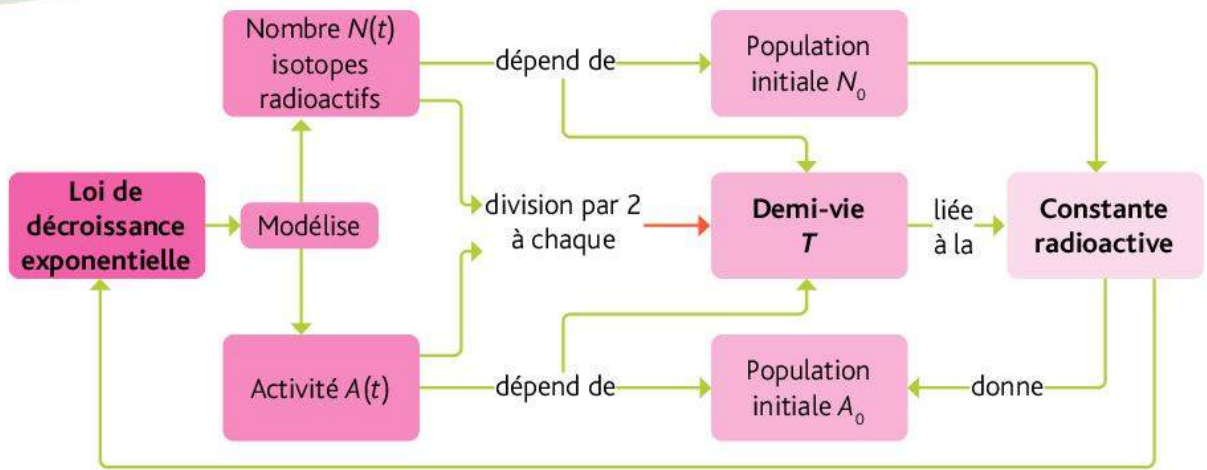


L'essentiel

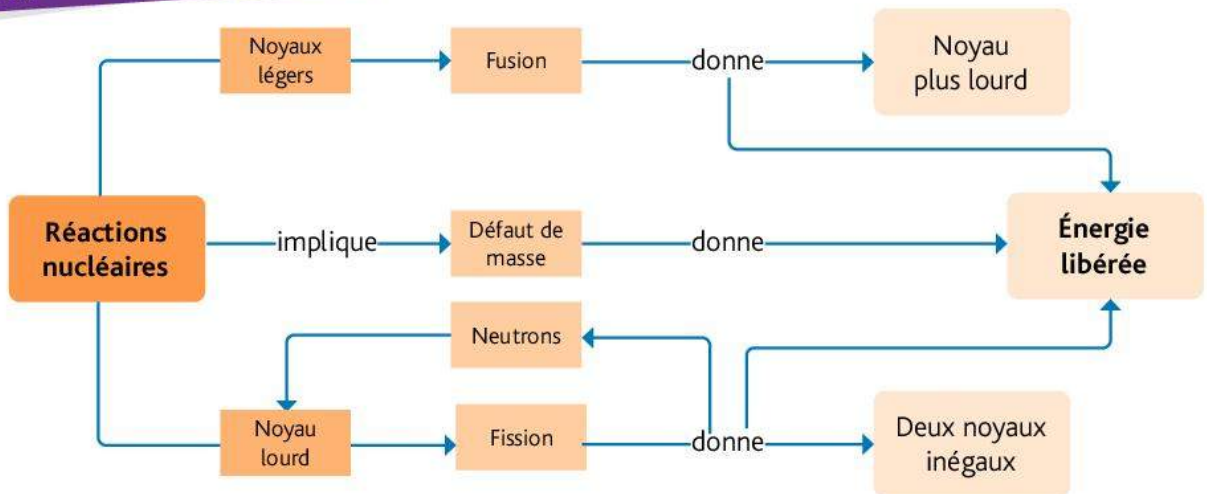
A. La radioactivité



B. Loi de décroissance radioactive



C. La production d'énergie nucléaire



Questions flash  Pour chaque question, trouver la ou les bonne(s) réponse(s).



CORRIGÉS p. 300-304

- 1** La radioactivité est...
- la conséquence de l'industrie nucléaire.
 - un phénomène existant dans la nature.
 - un phénomène qui peut être artificiel.

- 2** Une désintégration radioactive est un phénomène aléatoire et spontané où...
- un noyau instable explose en plusieurs noyaux.
 - de l'énergie est libérée.
 - un noyau père libère une petite particule et devient un noyau fils.

- 3** La demi-vie d'un isotope radioactif est la durée...
- durant laquelle la moitié de la population de cet isotope s'est désintégrée.
 - de la moitié de la vie d'un noyau représentant cet isotope.
 - au bout de laquelle l'activité de cet isotope est divisée par deux.

- 4** L'activité $A(t)$ d'un isotope nucléaire est...
- proportionnelle au nombre de noyaux $N(t)$ et à la constante radioactive λ .
 - proportionnelle au type de désintégration radioactive.
 - proportionnelle à la masse des noyaux.

- 5** Les réactions pouvant libérer de grandes quantités d'énergie sont...
- la fission nucléaire uniquement.
 - la fission et la fusion nucléaire.
 - la radioactivité.

- 6** Le défaut de masse d'une réaction nucléaire est...
- équivalent à l'énergie libérée par celle-ci.
 - la masse que doit perdre un noyau qui se désintègre.
 - la différence entre la masse totale des réactifs et celle des produits.

Vrai ou Faux ? Pour chaque proposition, déterminer si elle est vraie ou fausse.

- Lors d'une désintégration, le noyau fils a nécessairement le même numéro atomique que le noyau père.
- Le nombre de désintégrations par seconde d'une population est nommée « activité » (unité : le becquerel).
- Au bout de 3 demi-vies, la population d'un isotope radioactif est divisée par 8.
- Plus la demi-vie d'un isotope est longue, plus son activité est intense.
- Lors des réactions nucléaires, la masse totale est constante.
- La fusion de réacteur nucléaire est utilisée pour produire de l'énergie dans les centrales.

A La radioactivité

1 Les isotopes naturels du carbone

On connaît 13 isotopes du carbone, du carbone 8 au carbone 22 ($A = 8$ à $A = 22$). Le carbone 14 est le seul isotope radioactif naturel. Les isotopes 12 et 13 du carbone sont stables.

Écrire les symboles de tous les isotopes naturels du carbone.

2 Naturel ou artificiel ?

Identifier les isotopes naturels et les isotopes artificiels, à l'aide du tableau suivant.

Isotope	Désintégration	Indices
Uranium 235	α	Faibles quantités dans le minerai d'uranium.
Thorium 234	β^-	Produit de désintégration de l'uranium 238.
Fluor 18	β^+	Obtenu grâce aux accélérateurs de particules.
Strontium 90	β^-	Produit indésirable des centrales nucléaires.
Carbone 14	β^-	Formé par effet des rayons cosmiques sur l'azote 14.

3 Reconnaître des désintégrations radioactives

Recopier le tableau suivant en indiquant le type de désintégration ou en complétant l'équation de la réaction.

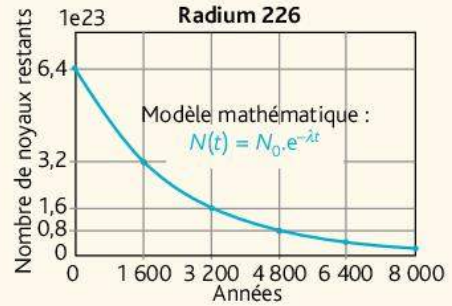
Isotope	Désintégration	Équation de désintégration
Uranium 238	...	${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$
Iode 118	β^+	${}_{53}^{118}\text{I} \rightarrow {}_{52}^{118}\text{Te} + \dots$
Césium 137	β^-	${}_{55}^{137}\text{Cs} \rightarrow {}_{56}^{137}\text{Ba} + \dots$
Fer 57	γ	${}_{26}^{57}\text{Fe}^* \rightarrow \dots + \dots$
Radium 226	α	${}_{88}^{226}\text{Ra} \rightarrow {}_{86}^{222}\text{Rn} + \dots$
Carbone 11	...	${}_{6}^{11}\text{C} \rightarrow {}_{5}^{11}\text{B} + {}_0^0\text{e}$

B Loi de décroissance radioactive

4 Désintégrations du radium 226

- Déterminer la demi-vie $T_{1/2}$ de cet isotope, en années puis en secondes.
- Calculer la constante radioactive λ , en s^{-1} .

DOC. Demi-vie du radium 226.



5 L'absence du plutonium 242

L'uranium 238 est un isotope radioactif qui se forme par désintégration α du plutonium 242. Comment expliquer l'absence de plutonium 242 sur Terre, alors que l'uranium 238 est relativement abondant ?

Données

Demi-vie du plutonium 242 : $T_{1/2} = 374\,000$ ans.
 Demi-vie de l'uranium 238 : $T_{1/2} = 4,47 \times 10^9$ ans.

C La production d'énergie nucléaire

6 Désintégration, fission ou fusion ?

Indiquer la nature de chacune des réactions suivantes : fusion, fission ou désintégration nucléaire.

- ${}_0^1\text{n} + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{54}^{135}\text{Xe} + {}_{38}^{101}\text{Sr}$
- ${}_{94}^{239}\text{Pu} \rightarrow {}_{92}^{235}\text{U} + {}_2^4\text{He}$
- ${}_6^{12}\text{C} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_8^{16}\text{O}$
- ${}_1^3\text{He} + {}_1^2\text{He} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$

7 Énergie libérée par une fusion nucléaire

Calculer l'énergie libérée par la réaction de fusion, en joules puis en MeV : ${}_2^4\text{He} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_4^8\text{Be}$.

Données

- $m(\text{He } 4) = 6,64648 \times 10^{-27}$ kg ;
- $m(\text{Be } 8) = 1,329343 \times 10^{-26}$ kg ;
- $c = 3,00 \times 10^8$ m \cdot s $^{-1}$;
- 1 MeV = $1,60 \times 10^{-13}$ J.



8 Estimation de la masse d'uranium consommée par an

» Réaliser - Valider

En 2018, les centrales nucléaires ont délivré 393 TWh sous forme d'énergie électrique. Cette énergie provient presque exclusivement de la fission de l'uranium 235. On souhaite estimer la masse d'uranium 235 consommée en 2018. Parmi différentes réactions similaires, la fission de l'uranium peut se faire selon l'équation : ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{55}^{140}\text{Cs} + {}_{37}^{93}\text{Rb} + 3{}_0^1\text{n}$.

1. Calculer le défaut de masse de cette réaction.

Mesure et incertitudes

Ne pas arrondir trop tôt les résultats, car m_i et m_f ont des valeurs très proches.

2. En déduire l'énergie libérée par cette réaction, en J puis en MeV.

Données

1 TWh = $3,6 \times 10^{15}$ J ; 1 MeV = $1,602 \times 10^{-13}$ J.

	Neutron	Rubidium 93	Césium 140	Uranium 235	Uranium 238
Masse (kg)	$1,6749 \times 10^{-27}$	$1,543007 \times 10^{-25}$	$2,323381 \times 10^{-25}$	$3,902996 \times 10^{-25}$	$3,95293 \times 10^{-25}$

3. Calculer l'énergie dégagée par 1 kg d'uranium 235 pur, en joules puis en TWh, si la réaction est uniquement due à celle proposée en début d'énoncé.

4. Proposer une estimation de la masse d'uranium 235 pur consommée en France en 2018.

Hypothèses : l'énergie dégagée est la même pour toutes les fissions de l'uranium 235 et toute l'énergie dégagée est convertible en énergie électrique.

RÉSOLUTION DÉTAILLÉE

1 La masse initiale est la somme de la masse de l'uranium et du neutron :

$$m_i = m(\text{U}) + m(\text{n}) = 3,902996 \times 10^{-25} + 1,6749 \times 10^{-27} = 3,919745 \times 10^{-25} \text{ kg.}$$

La masse finale est la somme des masses des noyaux formés et des neutrons émis :

$$m_f = m(\text{Cs}) + m(\text{Rb}) + 3m(\text{n})$$

$$m_f = 2,323381 \times 10^{-25} + 1,543007 \times 10^{-25} + 3 \times 1,6749 \times 10^{-27} = 3,916635 \times 10^{-25} \text{ kg.}$$

Le défaut de masse de la réaction est : $m_d = m_i - m_f = 3,919745 \times 10^{-25} - 3,916635 \times 10^{-25} = 0,003110 \times 10^{-25}$.

Donc $m_d = 3,110 \times 10^{-28}$ kg (4 chiffres significatifs).

2 L'énergie libérée se calcule par : $E = m_d \cdot c^2 \approx 3,108 \times 10^{-28} \times (3,00 \times 10^8)^2 \approx 2,799 \times 10^{-11}$

Donc $E = 2,80 \times 10^{-11}$ (3 chiffres significatifs)

Conversion en MeV : alors $E \approx \frac{2,799 \times 10^{-11}}{1,60 \times 10^{-13}} = 174,9375$ MeV alors $E \approx 175$ MeV (3 chiffres significatifs).

3 La masse d'un noyau d'uranium 235 est : $m(\text{U}) = 3,902996 \times 10^{-25}$ kg.

Donc l'énergie libérée par kg d'uranium est : $E_m \approx \frac{2,799 \times 10^{-11}}{3,902996 \times 10^{-25}} = 7,1714 \times 10^{13} \approx 7,17 \times 10^{13}$ J.

Conversion en TWh : $E_m \approx \frac{3,600 \times 10^{15}}{7,1714 \times 10^{13}} \approx 50,2$ TWh.

4 La masse d'uranium 235 nécessaire pour produire 393 TWh est d'environ $m_T \approx \frac{393}{50,2} \approx 78,3$ kg.

À vous de jouer

9 Une autre estimation de la masse d'uranium consommée par an

Estimer la masse d'uranium 235 pur consommée en France en 2018, en supposant que la réaction de fission qui se produit est celle donnée par l'équation suivante : ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{56}^{141}\text{Ba} + {}_{36}^{92}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$.

	Neutron	Krypton 92	Baryum 141	Uranium 235	Uranium 238
Masse (kg)	$1,6749 \times 10^{-27}$	$1,526470 \times 10^{-25}$	$2,399388 \times 10^{-25}$	$3,902996 \times 10^{-25}$	$3,95293 \times 10^{-25}$



10 Quel isotope pour la TEP ?

Application technologique

» Analyser • Réaliser • Valider • Communiquer



La tomographie par émission de positons (TEP) est une méthode d'imagerie médicale par scintigraphie qui utilise la radioactivité β^+ . La TEP permet de visualiser le parcours du sang ou d'identifier certains cancers.

Principe : un isotope radioactif se fixe dans les tissus d'un organe. Chaque positon β^+ émis parcourt une certaine distance avant d'interagir avec un électron : deux photons γ sont émis dans des directions opposées. Leur détection permet de reconstituer une image en 3D de l'organe.

Isotope	Demi-vie (min)	Énergie cinétique max du positon (keV)	Distance moyenne dans l'eau (mm)
Carbone 11	20,4	961	4,11
Azote 13	9,96	1 190	5,39
Oxygène 15	2,07	1 723	8,20
Fluor 18	109,8	635	2,39

- Dans la liste précédente, quel isotope fait le moins de dégâts dans le corps ?
- Quels isotopes faut-il éliminer, sachant que l'analyse nécessite environ 30 minutes ?
- a. Les images montrent-elles les lieux d'émission des positons ou des photons γ ? Expliquer.
b. Pourquoi la dernière colonne donne-t-elle aussi la distance moyenne parcourue dans le corps ?
c. Déterminer alors l'isotope permettant d'obtenir une image fidèle à la forme de l'organe.
- Justifier brièvement quel isotope est le plus adapté à la réalisation d'une TEP.

11 Il y a du radon dans l'air... Application technologique

Maths

» Analyser • Réaliser • Raisonner

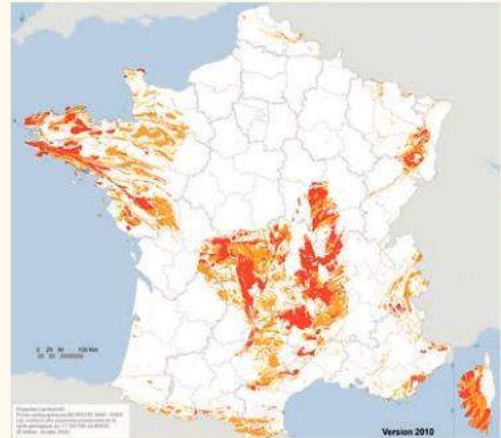
Le radon 222 est un gaz radioactif qui se désintègre par émission α .

DOC. 1 Le radon en France.

Le radon est produit partout sur Terre à partir de l'uranium proche de la surface. Son état gazeux lui permet de circuler, de pénétrer et de s'accumuler dans les bâtiments. En France l'activité moyenne du radon 222 dans les habitations est $A_0 = 68 \text{ Bq par m}^3$.

Source : IRSN.

DOC. 2 Les sources de radon 222, en France.



- La demi-vie du radon 222 est de 3,82 jours. Pourtant il est toujours présent dans l'air. Comment expliquer simplement ce paradoxe ?
- Quelles régions de France présentent un potentiel radon élevé ?
- Calculer la constante radioactive λ du radon 222, en s^{-1} .
- Calculer le nombre N_0 de noyaux de radon 222 par m^3 responsables de l'activité moyenne dans les habitations sachant que $A_0 = \lambda \times N_0$.
- En déduire le pourcentage moyen de noyaux de radon 222 dans l'air des habitations.

Aide

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}, \text{ avec } T_{1/2} \text{ en s.}$$

Donnée

Nombre de molécules dans 1 m^3 d'air : $2,7 \times 10^{25}$.

12 Le prix Nobel 1935 de Chimie

Histoire des sciences

» S'approprier • Analyser • Valider

En 1934, Frédéric et Irène Joliot-Curie constatent que des éléments chimiques bombardés par des particules alpha forment des noyaux différents. Ainsi, l'aluminium 27 donne un isotope radioactif ayant les propriétés chimiques





du phosphore. En 1935, ils reçoivent le prix Nobel de chimie « en reconnaissance de leurs synthèses de nouveaux éléments radioactifs ».

1. Lorsque la particule α atteint le noyau d'aluminium ${}^{27}_{13}\text{Al}$, il se forme un noyau avec émission d'un neutron ${}^1_0\text{n}$. Écrire l'équation de cette réaction.

Données

Symboles nucléaires : neutron : ${}^1_0\text{n}$;
aluminium : ${}^{27}_{13}\text{Al}$; phosphore : ${}^{30}_{15}\text{P}$.

2. La réaction précédente est-elle une désintégration alpha ? Expliquer.

3. Les deux scientifiques constatent que le phosphore 30 émet des particules β^+ , même lorsque le polonium est retiré. Justifier la raison du prix qui leur est décerné.

13 Catastrophe de Fukushima

» S'approprier • Analyser • Raisonner

Au Japon, le 11 mars 2011, un séisme de magnitude 9 est suivi d'un tsunami. Près de la ville de Fukushima, le système de refroidissement de trois réacteurs nucléaires cesse de fonctionner. Les réacteurs commencent à fondre. Le 15 mars, des isotopes radioactifs entraînés par le vent se déposent au sol, à 24 km au nord-ouest.



Le 31 mars, un prélèvement de sol est effectué à 24 km au nord-ouest.

Voici certains résultats :

Isotope (demi-vie)	Activité le 31/03/2011 (mesurée en Bq par kg de terre)	Activité le 15/03/2011 (calculée en Bq par kg de terre)
Iode 132 (2,3 h)	7 084	Environ 250 000
Iode 131 (8,0 j)	86 680	345 345
Césium 136 (13,2 j)	4 442	10 317
Césium 134 (2,1 ans)	45 343	46 003
Césium 137 (30 ans)	44 362	44 407
Tellure 132 (3,2 j)	7961	253 652

1. Pourquoi trois réacteurs de la centrale nucléaire de Fukushima ont-ils fondu ?

2. a. Quels sont les trois isotopes qui possèdent la plus forte activité dans le sol, le 15 mars ?

b. Même question, le jour du prélèvement. Que remarque-t-on ?

3. a. Combien de jours séparent le dépôt des isotopes radioactifs et le prélèvement de sol ?

b. À combien de demi-vies de l'iode 131 correspond cette durée ?

c. Connaissant l'activité de l'iode 131 le 31 mars, comment a été calculée son activité le 15 mars ?

4. Quels isotopes ont des activités ayant très peu diminué ? Proposer une explication.

5. a. Entre le dépôt des isotopes et le prélèvement, il s'est passé environ 5 demi-vies du tellure 132. Vérifier que l'activité du tellure 132 a été divisée par $2^5 = 32$ pendant cette durée.

b. Cette même durée correspond à environ 167 demi-vies de l'iode 132. L'activité de cet isotope a-t-elle été divisée par 2167 ?

c. Le tellure 132 se désintègre selon l'équation suivante : ${}^{132}_{52}\text{Te} \rightarrow {}^{132}_{53}\text{I} + {}^0_{-1}\text{e}$. De quel type de désintégration s'agit-il ?

d. Expliquer alors pourquoi l'activité de l'iode 132 est encore si élevée, le 15 mars.

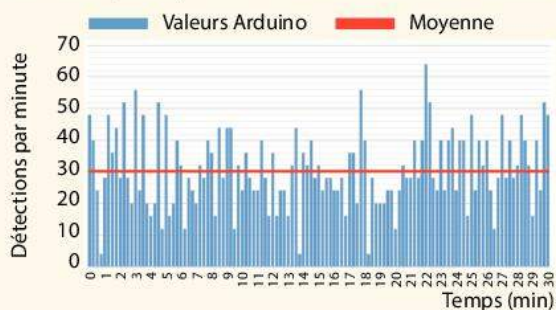
14 Un compteur Geiger avec Arduino

Application technologique

» Analyser • Raisonner • Communiquer

DOC. On a réalisé une acquisition du nombre de détections par minute.

Un compteur Geiger est un détecteur qui émet un « clic » dès qu'il détecte une particule bêta ou gamma. On en trouve de petits modèles bon marché qu'on peut associer à une carte Arduino.



1. Les détections de particules semblent-elles être aléatoires ou bien suivre une loi ?

2. Quel est le nombre moyen de désintégrations par minute ?
3. En réalité, Arduino affiche le nombre de détections par minute toutes les 15 secondes. Indiquer et expliquer le calcul réalisé par le programme pour calculer le nombre de détections par minute.
4. Repérer où est réalisé ce calcul dans le programme Arduino.

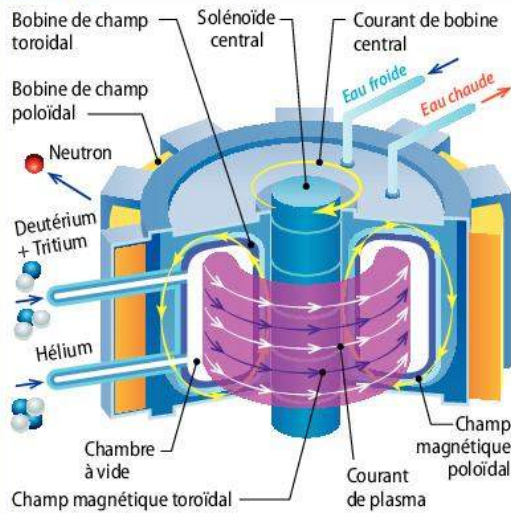
15 De la matière première pour la fusion

Application technologique

» Réaliser • Raisonner • Valider

La réaction de fusion nucléaire la plus étudiée utilise le deutérium et le tritium. Il se forme de l'hélium 4 avec émission d'un neutron de très haute énergie : ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$.

DOC. Réacteur à fusion nucléaire.



En 2018, les centrales nucléaires à fission ont délivré une énergie électrique de 393,3 TWh. La même énergie produite par fusion nucléaire nécessiterait 1 680 tonnes de deutérium et 2 520 tonnes de tritium.

Le deutérium pourrait être extrait de l'eau de mer (33 g/m^3). Après le démarrage, le tritium pourrait être formé à partir de plaques de lithium fixées aux parois du réacteur.

1. Montrer que l'énergie libérée par la réaction de fusion considérée est d'environ 17,6 MeV.
2. Quel volume d'eau de mer contiendrait 1 680 tonnes de deutérium ?
3. Après amorçage de la fusion nucléaire, les neutrons émis pourront réagir avec le lithium 6, dans le réacteur.

La formation du tritium se déroule en deux étapes :

- Étape 1 : capture de neutron : ${}^6_3\text{Li} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^7_3\text{Li}$.
 - Étape 2 : désintégration alpha : ${}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^3_1\text{H}$.
- a. Par quelle réaction est émis le neutron qui va réagir avec le lithium 6 ?
 - b. Calculer le nombre de noyaux contenus dans 2 520 tonnes de tritium.

Aide

Utiliser le tableau.

- c. En déduire la masse de lithium 6 nécessaire pour produire 2 520 tonnes de tritium par an.

Aide

Combien de noyaux de lithium 6 faut-il pour obtenir un noyau de tritium ?

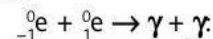
Données

Isotope	Masse (kg)
Neutron	$1,6749 \times 10^{-27}$
Deutérium	$3,344492 \times 10^{-27}$
Tritium	$5,008269 \times 10^{-27}$
Hélium 4	$6,64648 \times 10^{-27}$
Lithium 6	$9,989343 \times 10^{-27}$

16 Le fluor 18

Le fluor 18 est un isotope obtenu en bombardant de l'oxygène ${}^{16}_8\text{O}$ par des protons ${}^1_1\text{p}$. Il se désintègre par radioactivité β^+ avec une demi-vie de 110 minutes.

1. Écrire l'équation de la désintégration du fluor 18, sachant qu'il se forme un noyau d'oxygène.
2. Quel est le nom de la particule β^+ ?
3. La désintégration précédente est-elle la réaction inverse de la réaction de synthèse du fluor 18 ? Expliquer.
4. Déterminer la longueur d'onde des deux photons si leur énergie est de 511 keV. Lorsque la particule β^+ rencontre un électron, les particules s'annihilent en formant deux photons selon l'équation :



Les deux photons sont émis dans des directions opposées.

5. Calculer la masse qui a été nécessaire pour obtenir l'énergie de chaque photon, supposée égale à 511 keV. Commenter ce résultat.

Données

Masse d'un électron ou d'une particule β^+ :
 $m_e = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$;
 $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$.

17 Carbone 14 et mammouths

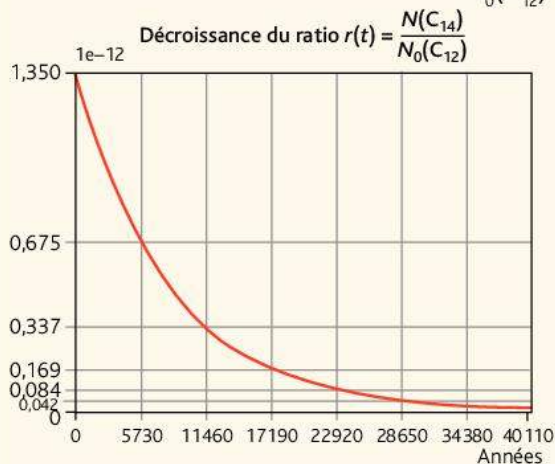


La Terre est en permanence bombardée par des rayons cosmiques qui permettent la formation de carbone 14 dans la haute atmosphère. De cette manière, on retrouve le carbone 14 dans environ une molécule de CO_2 sur 10^{12} .

DOC. 1 Le ratio carbone 14 et la datation.

Les noyaux de carbone 14 sont radioactifs. Mais le carbone 12 est stable. Dans chaque être vivant, le ratio (ou quotient) $r_0 = \frac{N_0(\text{C}_{14})}{N_0(\text{C}_{12})}$ du nombre de noyaux de carbone 14 divisé par celui de carbone 12 est constant.

Dès que l'organisme meurt, le ratio $r(t)$ diminue, selon une demi-vie de 5 730 ans : $r(t) = \frac{N(\text{C}_{14})}{N_0(\text{C}_{12})}$.



DOC. 2 Datation d'un os de mammouth.

On souhaite dater un échantillon du squelette d'un mammouth provenant de Sibérie. Un appareil nommé spectromètre de masse permet de compter les nombres d'isotopes de carbone 12 et de carbone 14 dans l'échantillon. On peut ensuite estimer le temps écoulé depuis le décès de l'animal.

» S'approprier • Réaliser • Valider

1. a. Qu'est-ce qui permet la formation de carbone 14 dans la haute atmosphère ?

b. Dans quelle molécule se retrouve ensuite le carbone 14 ?

2. Le carbone 14 se désintègre selon une radioactivité β^- en devenant un noyau d'azote 14. Écrire l'équation de désintégration correspondante.

3. Des mesures sur un os de mammouth ont donné un ratio $r = 0,0598 \times 10^{-12}$ (sans unité). À l'aide du document 1, proposer un encadrement de l'âge de l'échantillon, sachant que $t = 0$ représente l'instant du décès de l'animal.

4. On peut calculer l'âge de l'échantillon à l'aide de la formule suivante : $t_c = T_m \cdot \ln\left(\frac{r_0}{r}\right)$.

• t_c est nommé « âge radiocarbone ».

• T_m est la « durée de vie moyenne » d'un noyau de carbone 14 et se calcule à l'aide de la demi-vie $T_{1/2}$: $T_m = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$.

• À $t = 0$, le ratio est $r_0 = 1,35 \times 10^{-12}$ (sans unité).

a. Quelle est la demi-vie du carbone 14 ?

b. Calculer la « durée de vie moyenne » T_m , puis l'âge t_c de l'échantillon, en années.

Mesure et incertitudes

c. L'intervalle de confiance à 95 % sur t_c est : $U(t_c) = 100$ ans. Écrire le résultat sous la forme : $t_c = (t_c \text{ mesurée} \pm U(t_c))$ années.

5. En réalité, la quantité de carbone 14 formée varie au cours des époques, le ratio initial r_0 n'est donc pas constant. Une correction de l'âge radiocarbone t_c a donné l'âge suivant : $t = 29\,967 \pm 332$ années, considéré par rapport à l'année 1950 par convention.

En déduire entre quelles années calendaires est décédé le mammouth.

Données

Carbone 14 : ${}^{14}_6\text{C}$.
Azote 14 : ${}^{14}_7\text{N}$.

Mini-projet d'application

Comment déterminer l'évolution de l'activité par m³ d'un descendant du radon 222 : le polonium 218 ?



Cahier des charges à suivre

- Dans une pièce non ventilée, déterminer l'évolution de l'activité par m³ d'un descendant du radon 222 : le polonium 218. Volume de la pièce : 36 m³. Concentration initiale du radon 222 : 250 Bq·m⁻³.
- Déterminer les nombres initiaux de noyaux de radon 222 et polonium 218.
- Utiliser un programme en Python ou un tableur pour répondre à la problématique.
- Représenter l'évolution du nombre de noyaux de polonium 218. On peut faire varier la durée dt et la durée totale considérée (24h, 10 jours).

DOC. 1 Extrait de la chaîne de désintégration de l'uranium 238, à partir du radon 222.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Désintégration	α	A	β^-	β^-	α	β^-	β^-	α	Stable
Isotope	Rn 222	Po 218	Pb 214	Bi 214	Po 214	Pb 210	Bi 210	Po 210	Pb 206
Demi-vie	3,82 j	3,05 min	26,8 min	19,9 min	0,000164 s	22,3 ans	5,01 j	138 jours	Infinie

Entre les instants t et $t + dt$, la variation du nombre N_1 de noyaux de radon 222 due à leurs désintégrations est : $dN_{1,d} = -\lambda_1 \cdot N_1(t) \cdot dt$. (1)

Les noyaux de polonium 218 se forment par désintégration du radon 222, mais se désintègrent à leur tour. Ainsi, pendant la durée dt :

– il se forme le nombre de noyaux de polonium 218 : $dN_{2,f} = \lambda_1 \cdot N_1(t) \cdot dt$;

– il se désintègre le nombre de noyaux de polonium 218 : $dN_{2,d} = \lambda_2 \cdot N_2(t) \cdot dt$.

L'évolution du nombre de noyaux de polonium 218 pendant la durée dt est donc :

$$dN_2 = dN_{2,f} - dN_{2,d} = \lambda_1 \cdot N_1(t) \cdot dt - \lambda_2 \cdot N_2(t) \cdot dt \quad (2)$$

DOC. 2 Boîte à outils.

Connaissant le nombre de noyaux de radon 222 et de polonium 218 à l'instant t , les équations (1) et (2) permettent d'écrire pour l'instant $t + dt$:

– Le nombre de noyaux de radon 222 dans la pièce, à l'instant $t + dt$:

$$N_1(t + dt) = N_1(t) - \lambda_1 \cdot N_1(t) \cdot dt$$

– Le nombre de noyaux plutonium 218 dans la pièce, à l'instant $t + dt$:

$$N_2(t + dt) = N_2(t) + [\lambda_1 \cdot N_1(t) - \lambda_2 \cdot N_2(t)] \cdot dt.$$

L'activité moyenne $A(t)$ durant la durée dt , s'écrit :

$$A(t) = \frac{N(t + dt) - N(t)}{dt}.$$

Vers le grand oral

Présentez un schéma de la situation initiale de la pièce, et représentez graphiquement l'évolution des nombres de noyaux, de l'activité totale, selon les paramètres.

S'appropriier le projet avant de commencer

- 1 Comment calculer une constante radioactive ?
- 2 Comment calculer le nombre de noyaux de radon 222 désintégrés pendant la durée dt ?
- 3 De quoi dépend l'évolution du nombre de noyaux de polonium 218 pendant la durée dt ?



Le radon
(3 min 22)



Se préparer

et réviser les acquis de 1^{re}

Pour l'enseignant

↓ Diaporama des questions flash

Questions flash



CORRIGÉS p. 300-304

Pour chaque question, trouver la ou les bonnes réponses.

1 Une solution aqueuse d'acide citrique contient...

- a. de l'eau et de l'acide citrique.
- b. beaucoup plus d'eau que d'acide citrique.
- c. du jus de citron pressé.

2 Une solution aqueuse est basique si son pH est...

- a. égal à 7.
- b. inférieur à 7.
- c. supérieur à 7.

3 Un proton est une particule présente dans...

- a. la matière.
- b. le noyau d'un atome.
- c. le nuage qui entoure le noyau d'un atome.

4 Dans la molécule d'eau de formule H_2O , il y a...

- a. une liaison $H-H$ et une liaison $H-O$.
- b. deux liaisons $H-O$.
- c. deux liaisons $H-O$ et une liaison $H-H$.

5 Un ion H^+ provient d'un atome d'hydrogène qui a...

- a. perdu un électron.
- b. gagné un proton.
- c. gagné un neutron.

Capacités exigibles

- Identifier un acide et une base dans un couple donné. **Activités 1 2**
- Citer et exploiter la relation entre la concentration en ions H_3O^+ d'une solution aqueuse et la valeur du pH. **Activités 1 3**
- Proposer et réaliser un protocole permettant d'obtenir une solution de concentration molaire donnée par dilution. **Activités 3 4**

Les réactions acido-basiques



Les pluies acides
(1 min 17)



Les réactions acido-basiques sont essentielles en chimie et dans notre vie de tous les jours.

Pour les identifier, il faut acquérir les connaissances qui permettront de reconnaître et différencier un acide d'une base.

Un moyen qui permet de suivre l'évolution d'une réaction acido-basique est de mesurer l'évolution du pH du milieu réactionnel.



Liens avec les maths

- Fonction logarithme décimal. **Activité 1**
- Exploitation de courbes. **Activité 2**

Activités



- 1 Une piscine au lieu d'une mare !
- 2 Le dioxyde de carbone : un acide essentiel
- 3 Acide ou basique, quelle différence ?
- 4 Les produits ménagers, des produits inoffensifs ?

documentaire

documentaire

expérimentale

expérimentale

Une piscine au lieu d'une mare !

Capacités

- Identifier un acide et une base dans un couple donné.
- Citer et exploiter la relation entre la concentration en ions H_3O^+ d'une solution aqueuse et la valeur du pH.

Objectif

Étudier des réactions acido-basiques utilisées pour le traitement de l'eau.



Julien vient d'acquérir une maison avec une piscine. Il se pose beaucoup de questions : qu'est ce qui fait varier le pH de la piscine et comment le corriger ? Quel est le pH idéal et comment le surveiller ?

DOC. 1 pH d'une piscine.

L'eau d'une piscine n'est pas un milieu stable. La température, les pluies, l'environnement et ses polluants ainsi que les utilisateurs font sans cesse varier sa composition. Le pH, avec l'analyse du taux de désinfectant, constitue une des premières étapes du traitement de l'eau. Le pH idéal pour une eau de piscine est compris entre 7,2 et 7,4.

DOC. 2 La valeur du pH permet de garantir l'efficacité des traitements de l'eau.

Type de traitement	Domaine d'utilisation
Les désinfectants	$6,5 \leq \text{pH} \leq 8$ à cause du chlore
Les floculants	$\text{pH} \leq 7,6$ pour filtrer les matières organiques
Les algicides	Inefficaces si le pH est trop élevé
Les tuyaux, les pompes, les filtres, les joints de carrelage en ciment	Détérioration moins rapide si le pH n'est pas trop acide

DOC. 3 Les solutions acides ou basiques, notion de pH.

Le pH n'a pas d'unité. Il se mesure avec un pH-mètre.

Définition du pH :

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$$

La notation $[\text{H}_3\text{O}^+]$ désigne la concentration molaire de l'ion H_3O^+ , elle s'exprime en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Si $\text{pH} < 7$ alors $[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{HO}^-]$ et la solution est acide.

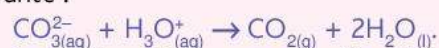
Si $\text{pH} > 7$ alors $[\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{HO}^-]$ et la solution est basique.



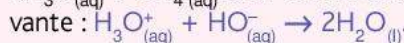
DOC. 4 Les correcteurs de pH.

Les correcteurs de pH permettent, par simple addition, de réguler le pH sans avoir à changer l'eau de la piscine.

- Le « **pH plus** » est composé de carbonate de sodium $\text{Na}_2\text{CO}_{3(s)}$ ou en solution $2\text{Na}^+_{(aq)} + \text{CO}_3^{2-}_{(aq)}$. Son action est la suivante :



- Le « **pH moins** » est un acide : chlorhydrique $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-_{(aq)}$ ou sulfurique $2\text{H}_3\text{O}^+ + \text{SO}_4^{2-}_{(aq)}$. Son action est la suivante :



Liens avec les maths

La fonction logarithme : $-\log(1) = 0$; $-\log(10^{-1}) = 1$...

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **S'approprier** Quel est le pH idéal pour ma piscine ? L'eau de la piscine contient-elle plus d'ions $\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$ ou d'ions $\text{HO}^-_{(aq)}$?

2 » **S'approprier** • **Réaliser** Qu'est-ce qui fait varier le pH de ma piscine ? Calculer la concentration des ions H_3O^+ pour un pH de 7,4.

3 » **S'approprier** Pourquoi et comment surveiller le pH ?

Conclusion

Comment conserver une eau saine dans une piscine ?

4 » **S'approprier** • **Analyser** On mesure un pH de 7,6. Quel correcteur de pH choisir ? Comment agit-il ?

Astuce

$$y = -\log(x) \Rightarrow x = 10^{-y}$$

5 » **S'approprier** • **Analyser** S'il existe une différence d'un proton H^+ entre deux espèces chimiques comme $\text{AH}_{(aq)}$ et $\text{A}^-_{(aq)}$, alors elles constituent un couple acide/base noté AH/A^- . Les espèces H_3O^+ et H_2O constituent-elles un couple acide/base ? Même question pour les espèces H_3O^+ et HO^- .

Le dioxyde de carbone : un acide essentiel à l'équilibre de notre planète

Pour l'enseignant
Grille d'auto-évaluation

Capacité Identifier un acide et une base dans un couple donné.

Objectif Comprendre des réactions acido-basiques essentielles à l'environnement.

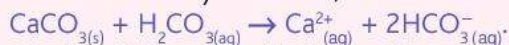


DOC. 1 « L'acidification » des océans.

L'acidité des océans aurait augmenté de 30 % environ depuis le début de la révolution industrielle. Sur la base des prévisions du GIEC, l'augmentation actuelle du taux de CO_2 dans l'atmosphère devrait encore diminuer le pH des eaux du globe de 8,1 actuellement à 7,8 d'ici à la fin du siècle. Leur pH se situant au-dessus de 7, les océans sont basiques et non acides, mais on parle d'acidification car il diminue.

DOC. 2 La structure en calcaire de certains organismes fragilisée.

La coquille des mollusques et les coraux sont constitués, en partie, de carbonate de calcium (CaCO_3). Pour cela, ces organismes utilisent une partie du dioxyde de carbone qui se dissout dans les eaux océaniques (pour donner l'acide $\text{H}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$ ou CO_2 , H_2O) et constituent ainsi des puits (des pièges) de carbone. Malheureusement, plus le pH de l'eau diminue et plus le calcaire (carbonate de calcium) se dissout, selon la réaction :

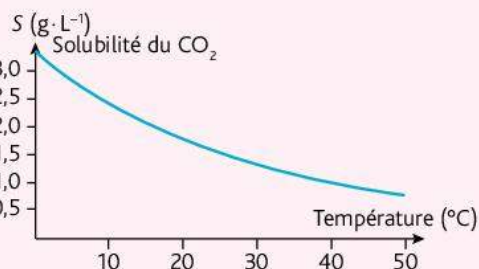


Cela entraîne ainsi une fragilisation, voire une disparition de certains de ces organismes, qui sont les garants de la biodiversité dans les océans.

DOC. 3 Solubilité du CO_2 dans l'eau en fonction de la température.

L'effet de serre est un phénomène naturel provoquant une élévation de la température à la surface de notre planète. L'augmentation de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère contribue à hauteur des deux tiers à l'augmentation de l'effet de serre.

Ce gaz étant soluble dans l'eau, les océans jouent un rôle de « puits de carbone » pouvant piéger le CO_2 .



DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **S'approprier** Citer les deux conséquences de l'augmentation des rejets de CO_2 dans l'atmosphère.

2 » **S'approprier** Expliquer la différence entre une solution acide et une acidification.

3 » **S'approprier** • **Analyser** S'il existe une différence d'un proton H^+ entre deux espèces chimiques comme AH et A^- , alors elles constituent un couple acide/base noté AH/A^- . Les espèces H_2CO_3 et HCO_3^- constituent-elles un couple acide/base ?

4 » **S'approprier** • **Analyser** En développant le mécanisme chimique, expliquer comment l'acidification des océans pose problème. Que signifie les termes « se dissout » dans ce cas ?

5 » **Analyser** • **Réaliser** Quelle est l'influence de la température sur la solubilité (concentration maximale) du CO_2 dans l'eau ? Si un litre d'eau à 10°C est saturé en CO_2 , quelle masse de CO_2 va se répandre dans l'atmosphère si cette eau passe à 20°C ?

Appeler l'enseignant pour vérifier les réponses.

6 » **Réaliser** • **Communiquer** (À l'oral) Si la température de la planète augmente, l'influence du CO_2 va-t-elle augmenter ou diminuer l'effet de serre ?

Conclusion

Comment une réaction acido-basique peut-elle influencer l'équilibre environnemental de la planète ?

3 Acide ou basique, quelle différence ?



Capacités

- Citer et exploiter la relation entre la concentration en ions H_3O^+ d'une solution aqueuse et la valeur du pH.
- Proposer et réaliser un protocole permettant d'obtenir une solution de concentration molaire donnée par dilution.

Objectif du TP

Interpréter le pH d'une solution.

Le pH se mesure à l'aide du papier pH ou, plus précisément, en utilisant un pH-mètre.

Le pH (potentiel hydrogène) indique le caractère acide, neutre ou basique d'une solution.

Il est défini par la relation : $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$
et inversement : $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$.

Le pH est exprimé sans unité. La concentration $[\text{H}_3\text{O}^+]$ est exprimée en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.



MATÉRIEL

- 1 L de solution aqueuse de divers produits alimentaires et ménagers (vinaigre à 8 %, dilué 20 fois, déboucheur liquide dilué 1 000 fois, eau de Javel diluée, jus de fruits, eau savonneuse, etc.).
- 6 béchers de 250 mL.

Pour chaque groupe :

- 1 pH-mètre et ses solutions étalons.
- 6 béchers de 100 mL.
- 1 verre à pied.
- 1 pissette d'eau déminéralisée.
- 1 feuille de papier essuie-tout.
- 1 pipette jaugée de 5,0 mL.
- 1 fiole de 100 mL et son bouchon.

ÉTAPE 1 Mesurer le pH d'une solution

1. Étalonner le pH-mètre, puis mesurer le pH de chaque solution disponible. Faire figurer les résultats sous la forme d'un tableau.
2. Résumer les résultats en utilisant une échelle de pH comme celle-ci :



3. Distinguer sur cette échelle, les solutions acides ($\text{pH} < 7$), des solutions basiques ($\text{pH} > 7$).

ÉTAPE 2 Interpréter le pH d'une solution

Les concentrations en ions H_3O^+ et HO^- sont liées par la relation :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{HO}^-] = 1,0 \times 10^{-14}$$

1. Calculer la concentration en ions H_3O^+ pour la solution la plus acide et pour la solution la plus basique.
2. En déduire la concentration en ions HO^- pour les deux solutions. Conclure.
3. Une solution neutre a un pH de 7,0. Que cela implique-t-il pour les concentrations en ions H_3O^+ et HO^- ?

ÉTAPE 3 Étude de la précision des mesures

Pour une même solution acide, deux groupes d'élèves n'ont pas trouvé la même valeur. Voici leurs résultats : $\text{pH}_1 = 3,4$ et $\text{pH}_2 = 3,5$.

1. Calculer les concentrations en ions H_3O^+ , notées $[\text{H}_3\text{O}^+]_1$ et $[\text{H}_3\text{O}^+]_2$, pour chaque valeur de pH.
2. Calculer l'écart absolu entre les deux concentrations.
3. Calculer l'écart relatif entre les deux concentrations, convertir la valeur en pourcentage.
4. Expliquer pourquoi la valeur d'un pH n'est donnée qu'avec une seule décimale.

Mesure et incertitudes

- Écart absolu : $[\text{mesure} - \text{valeur de référence}]$.
- Écart relatif : $\frac{\text{mesure} - \text{valeur de référence}}{\text{valeur de référence}}$.

Conclusion du TP

Au niveau de sa composition, que signifie, pour une solution, « avoir un pH acide ou basique » ?
Le résultat final est-il compatible avec la valeur de référence ? Commenter.

Les produits ménagers, des produits inoffensifs ?

Pour l'enseignant

Protocole guidé

1 h 30

Capacité

Proposer et réaliser un protocole permettant d'obtenir une solution de concentration molaire donnée par dilution.

Objectif du TP

Prévoir l'évolution du pH lors d'une dilution.

Pour être efficaces, les produits ménagers doivent être suffisamment concentrés. De plus, d'un point de vue environnemental, il est préférable d'acheminer et d'acheter des produits concentrés qui seront ensuite dilués sur place, avant utilisation.



ÉTAPE 1 Comment évolue le pH d'une solution acide lors d'une dilution ?

On souhaite préparer, à partir de la solution S_1 de vinaigre dilué, une solution S_2 15 fois moins concentrée et de volume $V_2 = 50$ mL.

1. Dans un souci de préservation de l'environnement, proposer un protocole expérimental qui ne prépare que le volume souhaité.

2. Mesurer et comparer les pH de chaque solution et proposer une explication.

**MATÉRIEL**

- Vinaigre à 8 % dilué 20 fois, déboucheur liquide dilué 1000 fois, acide citrique.
- Balance.

Pour chaque groupe :

- pH-mètre, fioles jaugées de 50 et 100 mL, pipettes graduées de 5 et 10 mL.

ÉTAPE 2 Comment évolue le pH d'une solution basique lors d'une dilution ?

On souhaite préparer, à partir de la solution S_3 de déboucheur dilué, une solution S_4 12 fois moins concentrée et de volume $V_4 = 50$ mL.

1. Dans un souci de préservation de l'environnement, proposer un protocole expérimental qui ne prépare que le volume souhaité.

2. Mesurer et comparer les pH de chaque solution et proposer une explication.



ÉTAPE 3 De la dissolution à la dilution avec l'acide citrique.

1. Proposer un protocole expérimental permettant de préparer une solution S de concentration en masse $C = 14,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ en acide citrique, et de volume $V = 100,0$ mL.

2. À partir de cette solution, et en préparant une solution S' de concentration en masse $C' = 1,75 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, de volume $V' = 50,0$ mL, montrer dans quel sens évolue le pH d'une solution acide lors d'une dilution.

Conclusion du TP

De manière générale, comment évolue le pH lors d'une dilution ?

A Les acides et les bases

COURS



1 Qu'est-ce qu'un acide ?

- Toute espèce chimique, ionique ou moléculaire, susceptible de **donner au moins un proton**, noté H^+ , est un acide. Cet acide peut être noté AH.
- Modélisation de la perte du proton H^+ :
 $AH = A^- + H^+$.
- **L'espèce AH cède un proton H^+** pour devenir l'espèce A^- .

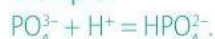
Exemple :



2 Qu'est-ce qu'une base ?

- Toute espèce chimique, ionique ou moléculaire, susceptible de **capter au moins un proton**, noté H^+ , est une **base**. Cette base peut être notée A^- .
- Modélisation du gain du proton H^+ :
 $A^- + H^+ = AH$.
- L'espèce A^- capte un proton H^+ pour devenir l'espèce AH.

Exemple :



3 Notion de couple acide/base

- On peut remarquer qu'un acide qui cède un proton H^+ se transforme en une espèce chimique très proche, mais qui peut capter un proton, c'est donc **une base (dite conjuguée)**.

- L'écriture (la demi-équation) : $AH = A^- + H^+$ conduit au **couple acide/base** : AH/A^- .
- A^- est la base conjuguée de AH, réciproquement AH est l'acide conjugué de A^- .

Exemples :

Demi-équation	Couple acide/base	Nom des espèces
$H_3O^+ = H_2O + H^+$	H_3O^+ / H_2O	Ion oxonium / Eau
$H_2O = HO^- + H^+$	H_2O / HO^-	Eau / Ion hydroxyde
$CH_3COOH = CH_3CO_2^- + H^+$	$CH_3COOH / CH_3CO_2^-$	Acide éthanóique / Ion éthanóate Acide acétique / Ion acétate
$NH_4^+ = NH_3 + H^+$	NH_4^+ / NH_3	Ion ammonium / Ammoniac
$CO_2, H_2O = HCO_3^- + H^+$	$CO_2, H_2O / HCO_3^-$	Dioxyde de carbone / Ion hydrogénocarbonate Acide carbonique / Ion bicarbonate
$HCO_3^- = CO_3^{2-} + H^+$	HCO_3^- / CO_3^{2-}	Ion hydrogénocarbonate / Ion carbonate

B La réaction acido-basique en solution aqueuse

1 La théorie de Brønsted-Lowry [1923]

- Les réactions chimiques sont dites **acido-basiques** si un échange d'ions H^+ (**protons**) a lieu entre les réactifs.
- L'espèce qui **donne** un ion H^+ est un **acide** et l'espèce qui **accepte** cet ion H^+ est une **base**.
- Le **milieu** (le plus souvent l'eau) dans lequel se déroulent ces réactions joue un rôle important.



Johannes Brønsted



Thomas Lowry

Remarque

Cette théorie porte les noms des chimistes anglais Thomas Lowry et danois Joannes Brønsted qui l'énoncèrent indépendamment en 1923.

Remarque

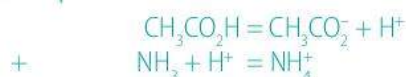
Les espèces chimiques en solution sont notées avec l'indice (aq) qui signifie que l'espèce est entourée de molécules d'eau ; on dit qu'elle est solvatée.

2 Modélisation d'une réaction acido-basique

- Une réaction acido-basique est un **transfert d'ion H^+** entre un acide et une base de couples différents.
- Pour deux couples notés A_1H/A_1^- et A_2H/A_2^- , l'équation de la réaction est :

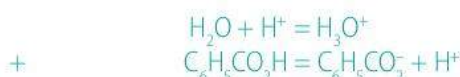
$$A_1H_{(aq)} + A_2^-_{(aq)} \rightleftharpoons A_1^-_{(aq)} + A_2H_{(aq)}$$
- L'acide A_1H cède un H^+ à la base A_2^- . L'acide devient A_1^- et la base devient A_2H .

Exemple :



Remarque

Dans une équation de réaction, le signe à utiliser entre les produits et les réactifs est \rightleftharpoons . Il veut traduire le fait qu'un équilibre a été atteint (les réactifs n'ont pas été entièrement consommés et pourtant la réaction n'évolue plus, on dit qu'elle est limitée). Cette situation est courante avec les réactions acido-basiques. Par contre lorsque les réactions conduisent à la disparition d'un des réactifs (réaction totale), une simple flèche \rightarrow est utilisée.



C Définition et mesure du pH d'une solution aqueuse

1 La mesure du pH

- Le **pH** (potentiel hydrogène) indique le caractère acide, neutre ou basique d'une solution.
- Il est défini par la relation $pH = -\log[H_3O^+]$ et inversement $[H_3O^+] = 10^{-pH}$.
- Le pH est exprimé **sans unité** et avec une seule décimale. La concentration $[H_3O^+]$ est exprimée en $mol \cdot L^{-1}$.
- Le pH se mesure à l'aide du papier pH ou, plus précisément, en utilisant un pH-mètre.



Remarque

- Le pH-mètre doit être étalonné avant toute utilisation. On utilise pour cela deux solutions-étalons de pH connu.
- L'ion H^+ (le proton) n'existe pas en solution, il réagit avec l'eau pour donner l'ion H_3O^+ (ion oxonium ou hydronium) selon l'écriture: $H_2O + H^+ \rightarrow H_3O^+$.

2 Caractère acide ou basique d'une solution

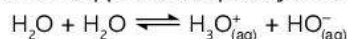
pH = 7 la solution est neutre :
 $[H_3O^+] = [HO^-] = 10^{-7} \text{ mol} \cdot L^{-1}$
 L'eau pure.



- C'est la **proportion entre les ions** H_3O^+ et $HO^-_{(aq)}$ qui détermine le caractère acide ou basique d'une solution.
- Les ions H_3O^+ et $HO^-_{(aq)}$ sont liés par la relation $[H_3O^+] \cdot [HO^-] = 10^{-14}$, quelle que soit la solution étudiée.
- Le pH se définit par rapport à la concentration des ions H_3O^+ pour que la relation soit simple : $pH = -\log[H_3O^+]$.



INFOS FLASH

L'eau pure ne contient pas que du H_2O ! Une réaction se fait entre une faible partie des molécules d'eau. On l'appelle l'autoprotolyse de l'eau :



3 Sécurité et précautions de manipulation

- Pour les solutions acides ou basiques, les pictogrammes de sécurité sont :

	Provoque une destruction profonde de la peau et des yeux en cas de contact. Peut attaquer et détruire certains métaux.
	Peut provoquer des irritations de la peau, des yeux et des voies respiratoires.

- Il faut savoir gérer le risque encouru : port de la blouse et de lunettes de protection lors des manipulations.

Exemple :

Le danger dépend de la concentration des solutions employées :

- solution d'hydroxyde de sodium de concentration inférieure à 0,5 %, soit $0,13 \text{ mol} \cdot L^{-1}$
→ Pas de pictogramme nécessaire.
- solution d'ammoniac de concentration $< 0,06 \text{ mol} \cdot L^{-1}$
→ Pas de pictogramme nécessaire.
- solution d'acide chlorhydrique de concentration inférieure à 10 %, soit $2,9 \text{ mol} \cdot L^{-1}$
→ Pas de pictogramme nécessaire.

D Sens de l'évolution du pH lors de la dilution d'une solution

1 Définitions

- Une **dilution** a pour but d'obtenir une solution **moins concentrée** à partir d'une première solution, en ajoutant de l'eau (déminéralisée). L'eau ayant un pH de 7 environ, le pH des solutions obtenues va donc tendre vers cette valeur.
- Dilution d'une **solution acide** :
 - la solution devient moins acide ;
 - son pH augmente et se rapproche de 7.
- Dilution d'une **solution basique** :
 - la solution devient moins basique ,
 - son pH diminue et se rapproche de 7.

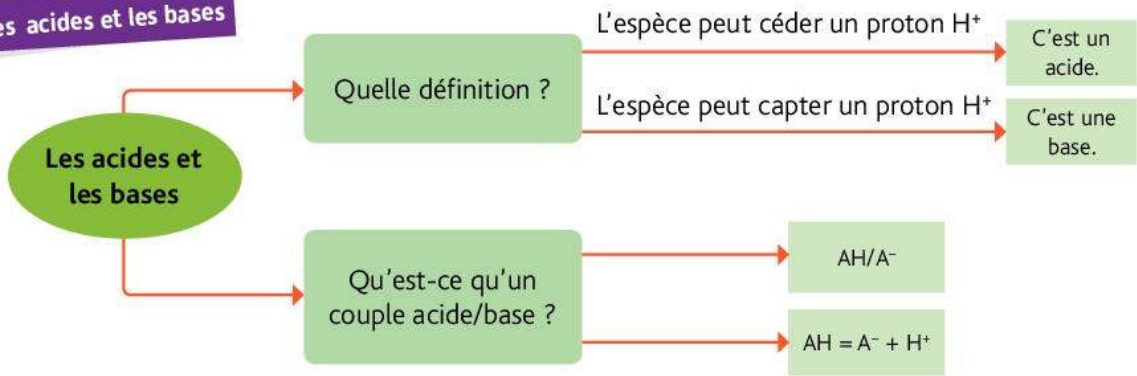
2 Préparation d'une dilution

- Lorsqu'on prépare une solution S_2 de concentration C_2 (en soluté apporté) et de volume V_2 à partir d'une solution S_1 de concentration C_1 (en soluté apporté) et de volume V_1 :
 - Le **soluté** est l'espèce dissoute : un acide ou une base (dans ce cours) ;
 - Le **solvant** est de l'eau déminéralisée ;
 - La quantité n_2 (en soluté apporté) est donnée par la relation : $n_2 = C_2 \cdot V_2$;
 - Cette quantité n_2 doit être prélevée dans la solution S_1 , soit n_p cette quantité de telle sorte que : $n_p = n_2$ avec $n_p = C_1 \cdot V_p$ avec V_p le volume prélevé dans la solution S_1 .
- On a alors :

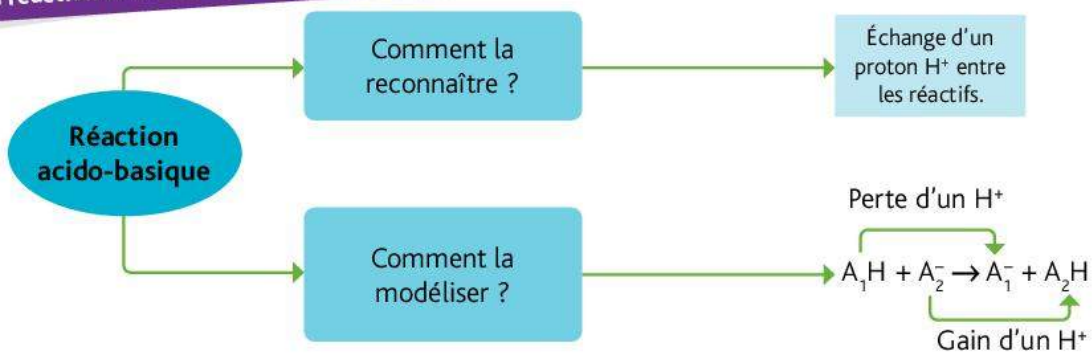
$$n_p = n_2 \Leftrightarrow C_1 \cdot V_p = C_2 \cdot V_2 \Leftrightarrow V_p = \frac{C_2 \cdot V_2}{C_1}$$

L'essentiel

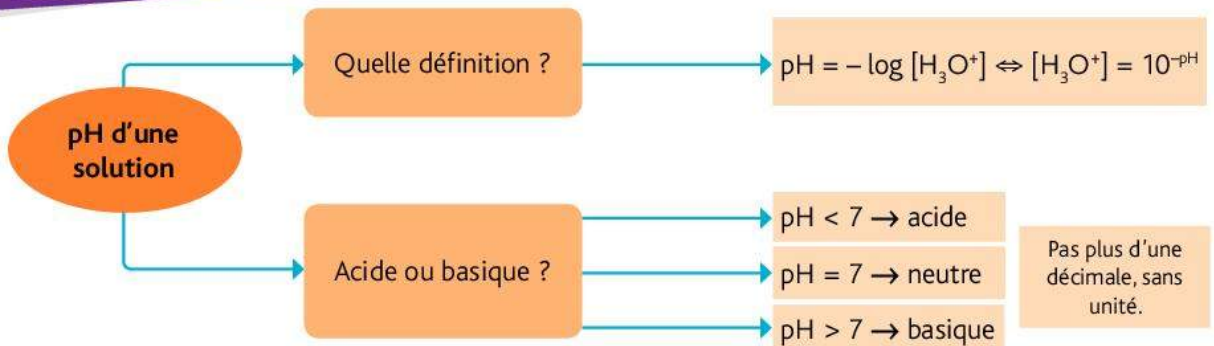
A. Les acides et les bases



B. La réaction acido-basique en solution aqueuse



C. Définition et mesure du pH d'une solution aqueuse



D. Sens de l'évolution du pH lors de la dilution d'une solution



Questions flash  Pour chaque question, trouver la ou les bonne(s) réponse(s).



CORRIGÉS p. 300-304

- 1** Un acide est une espèce chimique qui peut...
- gagner un proton.
 - perdre un proton.
 - perdre un ion H^+ .

- 2** Une base est une espèce chimique qui peut...
- gagner un ion H^- .
 - gagner un ion HO^- .
 - gagner un proton.

- 3** Un couple acide/base peut s'écrire...
- $AH = A^- + H^+$.
 - AH / A^- .
 - A^- / AH .

- 4** Dans l'équation $HCOOH_{(aq)} + HO^-_{(aq)} \rightarrow HCOO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)}$, les couples acide/base mis en jeu sont...
- $HCOOH / HO^-$ et $HCOO^- / H_2O$.
 - $HCOOH / HCOO^-$ et HO^- / H_2O .
 - $HCOOH / HCOO^-$ et H_2O / HO^- .

- 5** Les relations qui lient le pH et la concentration $[H_3O^+]$ sont...
- $pH = -\log[H_3O^+]$ et $[H_3O^+] = 10^{-pH}$.
 - $pH = -\log[H_3O^+]$ et $[H_3O^+] = \log(pH)$.
 - $pH = 10^{-[H_3O^+]}$ et $[H_3O^+] = -\log(pH)$.

- 6** Lors de la dilution d'une solution basique...
- le pH augmente.
 - le pH diminue.
 - le pH reste constant.

Vrai ou Faux ? Pour chaque proposition, déterminer si elle est vraie ou fausse.

- La base conjuguée de l'acide CH_3COO^- est CH_3COOH .
- L'acide conjugué de la base NH_3 est NH_4^+ .
- Si la concentration $[H_3O^+] = 2,7 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, alors le pH de la solution est 5,6.
- Si le pH de la solution est 8,7 alors il y a plus d'ions HO^- que d'ions H_3O^+ dans la solution.
- Dans une solution de volume 250 mL et de pH = 3,8, il y a 40 μmol d'ions H_3O^+ .
- Si on introduit $3,0 \times 10^{-2} \text{ mmol}$ d'ions H_3O^+ dans un volume de 1,75 L d'eau déminéralisée, alors le pH est de 4,5.



A Les acides et les bases

1 Le bon vocabulaire au bon endroit

Indiquer pour chaque phrase quel est le mot correct :

1. Une base est une espèce chimique **donneuse/accepteuse** de proton/électron.
2. Lors d'une réaction acido/basique il y a échange d'ion H^+/OH^- . L'acide **cède/capte** un proton à une base qui le **cède/capte**.
3. Un couple acide/base est formé de deux espèces chimiques qui diffèrent l'une de l'autre par un ion H^+/H^- . L'acide possède un ion H^+/H^- de **plus/moins** que sa base conjuguée.
4. Le pH d'une solution traduit la concentration en ion H_3O^+/HO^- . Plus cette concentration est élevée et plus le pH de cette solution est **élevé/bas**.

B La réaction acido-basique en solution aqueuse

2 Des couples et des réactions

Voici les équations de quelques réactions acido-basiques :

- $C_2H_5-COOH_{(aq)} + HO^-_{(aq)} \rightleftharpoons C_2H_5-COO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)}$
- $CH_3-CH_2-O^-_{(aq)} + CH_3-COOH_{(aq)} \rightleftharpoons CH_3-CH_2-OH_{(aq)} + CH_3-COO^-_{(aq)}$
- $NH_4^+_{(aq)} + C_4H_9-COO^-_{(aq)} \rightleftharpoons NH_3_{(aq)} + C_4H_9-COOH_{(aq)}$
- $HO^-_{(aq)} + C_6H_5-CO_2H_{(aq)} \rightleftharpoons H_2O_{(l)} + C_6H_5-CO_2^-_{(aq)}$
- $H_3O^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)} \rightleftharpoons H_2O_{(l)} + H_2O_{(l)}$

Pour chaque équation :

1. Identifier l'acide et la base parmi les réactifs.
2. Écrire les couples acide/base mis en jeu.

3 Écrire une équation de réaction acido/basique

1. L'acide citrique noté HCit, se dissout très bien dans l'eau mais il réagit aussi avec l'eau selon une réaction acido/basique. Écrire l'équation de cette réaction.



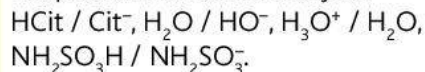
2. Les ions H_3O^+ présents dans l'eau réagissent avec les ions carbonate $CO_3^{2-}_{(aq)}$. Écrire l'équation de cette réaction acido/basique.

3. L'acide sulfamique, de formule NH_2SO_3H , est utilisé dans le commerce comme détartrant, notamment pour les cafetières électriques.

Il réagit avec l'eau selon une réaction acido/basique.

Écrire l'équation de cette réaction.

Couples acide/base mis en jeu :



C Définition et mesure du pH d'une solution aqueuse

4 Solutions acides ou basiques ?

Maths

1. Une solution aqueuse a une concentration en ions H_3O^+ égale à $2,7 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
 - a. Calculer le pH de cette solution.
 - b. Cette solution est-elle acide ou basique ? Pourquoi ?
2. Une solution aqueuse a un pH de 9,7.
 - a. Cette solution est-elle acide ou basique ? Pourquoi ?
 - b. Calculer la concentration en ions H_3O^+ .

D Sens de l'évolution du pH lors de la dilution d'une solution

5 Répartition des ions H_3O^+ et HO^-

Une solution aqueuse a un pH de 6,1.

1. Calculer la concentration en ions H_3O^+ .
2. En déduire la concentration en ions HO^- .
3. La solution a un volume de 450 mL. Calculer les quantités de matière en ions H_3O^+ et ions HO^- . La comparaison de ces deux quantités confirme-t-elle que la solution est acide ?
4. On prélève, à l'aide d'une pipette graduée, 17,8 mL de cette solution. On verse le prélèvement dans une fiole de 150 mL. On ajoute de l'eau déminéralisée jusqu'au trait de jauge. On bouche et on agite. Calculer la quantité d'ions H_3O^+ apportée par le prélèvement dans la fiole. Estimer la valeur du pH de la nouvelle solution.

Donnée

$$[H_3O^+] \cdot [HO^-] = 1,0 \times 10^{-14}$$



6 Détartrant pour cafetière : l'acide sulfamique

On trouve dans le commerce des préparations à base d'acide sulfamique prêtes à l'emploi. Leur conditionnement est sous forme de sachet contenant 1,00 g de produit à 99 % de pureté en masse.

Données

- Formule de l'acide sulfamique : $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$.
- Masses molaires ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$) : H : 1,00 ; N : 14,0 ; O : 16,0 ; S : 32,1.

- Écrire la formule de la base conjuguée de l'acide sulfamique.
- On verse le contenu du sachet dans un volume de 250 mL d'eau. Le solide se dissout entièrement.
 - Montrer que la concentration en acide sulfamique de la solution S_1 obtenue est $C_1 = 40 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.
 - Écrire l'équation de la réaction entre l'eau et l'acide sulfamique.
 - En déduire les deux couples acide/base mis en jeu dans cette réaction.
 - En admettant qu'une mole d'acide sulfamique donne une mole d'ions H_3O^+ , montrer que le pH de la solution obtenue est 1,4.
- On a préparé une solution diluée S_2 à partir de la solution S_1 . La mesure du pH de cette solution est de 2,2. Expliquer le sens de la variation du pH entre les deux solutions.

RÉSOLUTION DÉTAILLÉE

1. Un acide est une espèce chimique qui perd un proton H^+ , sa base conjuguée est donc : NH_2SO_3^- .

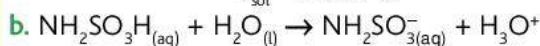
2. a. Il faut se servir de la relation : $n = \frac{m}{M}$.

Le degré de pureté est de 99 % : il y a 0,99 g d'acide sulfamique dans le sachet.

$$M_{(\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H})} = 3M_{\text{H}} + M_{\text{N}} + 3M_{\text{O}} + M_{\text{S}} = 3 \times 1,00 + 14,0 + 3 \times 16,0 + 32,1 = 97,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Application numérique : $n = \frac{0,99}{97,1} = 0,010 \text{ mol}$.

Par définition, $C_1 = \frac{n}{V_{\text{sol}}} = \frac{0,010}{250 \times 10^{-3}} = 0,040 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 40 \cdot 10^3 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 40 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.



c. Couple impliquant l'acide sulfamique : $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}_{(\text{aq})} / \text{NH}_2\text{SO}_3^-_{(\text{aq})}$

Couple impliquant l'eau : $\text{H}_3\text{O}^+ / \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$.

d. Par définition : $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$. Il faut donc déterminer la concentration en ions H_3O^+ .

Si une mole d'acide sulfamique donne une mole d'ions H_3O^+ , alors à partir de 0,010 mol d'acide sulfamique on obtient 0,010 mol d'ions H_3O^+ . Le volume de la solution étant constant : $[\text{H}_3\text{O}^+] = C_1 = 40 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. On peut alors effectuer le calcul demandé : $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = -\log[40 \times 10^{-3}] = 1,4$.

3. Le pH a augmenté car la concentration en ions H_3O^+ a diminué. De plus, le pH des solutions diluées tend vers le pH du solvant (ici l'eau déminéralisée), qui est plus grand que celui de la solution S_1 .

Astuce

Dans la formule d'un acide, l'atome H isolé permet de comprendre qu'il s'agit de celui qui va être libéré. Un atome H lié à un atome C n'est jamais libéré.

Remarque

Toujours écrire l'espèce acide en premier dans le couple acide/base.

Aide

Attention aux conversions : utiliser au maximum une décimale pour la valeur du pH.

À vous de jouer

7 L'acide ascorbique

Dans un citron de 100 g, il y a 53 mg d'acide ascorbique. Répondre aux mêmes questions.

Données

Formule brute de l'acide ascorbique : $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$, il sera noté AH pour simplifier.

8 Effet de dilution d'une solution d'eau de Javel

» S'approprier • Analyser **Maths**

L'eau de Javel est utilisée dans la vie courante car elle a des propriétés désinfectantes : elle détruit les bactéries, les petits champignons, les virus. Elle a aussi la propriété de blanchir ou décolorer beaucoup de tissus.

La composition de l'eau de Javel est complexe : il s'agit d'un mélange en mêmes proportions de deux solutions : $\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ et $\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{ClO}^-_{(\text{aq})}$. Seule l'espèce ClO^- a des propriétés acido-basiques, elle fait partie du couple $\text{HClO} / \text{ClO}^-$.

L'eau de Javel vendue dans le commerce est très concentrée, il n'est pas rare de mesurer des pH de l'ordre de 12,5.

1. L'espèce ClO^- est-elle l'acide ou la base du couple dans lequel elle est impliquée ?
2. Pour des raisons de sécurité, une personne travaillant en milieu hospitalier souhaite diluer par trente fois la solution commerciale dont elle dispose. Le volume final de la solution diluée doit être de 1,5 L. Indiquer à cette personne comment elle doit s'y prendre.
3. Le pH de la solution diluée va-t-il être inférieur ou supérieur à celui de la solution commerciale ?

9 Origine des pluies acides

» S'approprier • Réaliser

DOC. 1 Les pluies acides.

L'expression « pluie acide » désigne toute forme de précipitations anormalement acides.



Cette acidification est due à la présence dans l'atmosphère de gaz susceptibles de se dissoudre dans l'eau en formant des espèces acides. Il s'agit essentiellement des oxydes de soufre (SO_2 et SO_3) et d'azote (NO et NO_2). Ces polluants réagissent dans l'atmosphère avec le dioxygène et l'eau pour former respectivement de l'acide sulfureux H_2SO_3 et de l'acide nitrique HNO_3 .

Source : wikipedia.

Dans une moindre mesure, le dioxyde de carbone CO_2 , présent dans l'air réagit avec l'eau pour don-

ner l'acide carbonique H_2CO_3 , noté de manière préférentielle CO_2 , H_2O .

1. L'acide nitrique est un monoacide, cela signifie qu'il ne peut perdre qu'un seul proton H^+ . Proposer le couple acide/base dans lequel l'acide nitrique est impliqué.
2. L'acide sulfureux est un diacide, cela signifie qu'il peut perdre un proton H^+ pour donner une première espèce chimique qui, à son tour, va perdre un autre proton pour donner une troisième espèce chimique. Proposer les deux couples que l'on peut obtenir à partir de l'acide sulfureux.
3. Proposer les deux couples que l'on peut obtenir à partir de l'acide carbonique.

10 Du benzène dans les sodas : un accident technologique

» S'approprier • Réaliser **Application technologique**

En 2007, une organisation belge de défense des consommateurs tirait la sonnette d'alarme. Du benzène (un produit cancérigène) était présent dans les sodas. Des études ont montré



depuis que c'est la présence conjuguée de l'acide benzoïque (un conservateur) et de l'acide ascorbique (un acidifiant) dans les sodas qui conduit à la formation du benzène. Des facteurs (comme le pH, la présence de sucre, etc.) jouent un rôle important dans la quantité de benzène formée. L'industrie agroalimentaire a réagi en n'utilisant plus le benzoate de sodium $\text{Na}^+ + \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$ comme conservateur quand c'était possible. La présence de benzène a été davantage observée dans les boissons dites « light ».

Données

pH moyen d'un soda : 2,5 ; acide benzoïque : $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$; acide ascorbique : $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$.

1. Un soda est-il une boisson acide ou basique ?
2. Quelles sont les deux espèces qui réagissent pour former du benzène ? À quoi servent-elles dans un soda ?
3. La présence de sucre favorise-t-elle la formation de benzène ?
4. a. Comment a réagi l'industrie agroalimentaire ?
b. Quel lien existe-t-il entre l'acide benzoïque et le benzoate de sodium ?



11 Détartrer ou désinfecter, il faut choisir !

» S'approprier • Réaliser

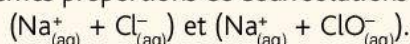
Les produits ménagers sont des produits chimiques de concentration élevée et qui sont souvent rangés ensemble. C'est sans doute très utile mais ce n'est pas forcément une bonne idée... En effet, certains ne doivent pas être mélangés sous peine de graves complications.



DOC. 1 L'eau de Javel.

L'eau de Javel est utilisée pour ses propriétés désinfectantes.

La composition de l'eau de Javel est un mélange en mêmes proportions de deux solutions :



L'eau de Javel vendue dans le commerce est très concentrée.

Pictogrammes de danger :



Précautions d'emploi :

Elle doit être utilisée seule, ne doit jamais être mélangée avec un produit acide (comme un produit détartrant WC ou du vinaigre), car un gaz toxique, le chlore, peut se dégager.

DOC. 2 Les détartrants.

Les détartrants contiennent des espèces acides qui peuvent éliminer les traces blanches de calcaire. Les acides utilisés couramment sont l'acide chlorhydrique (pour les toilettes), les acides citrique et sulfamique (pour les appareils ménagers), l'acide phosphorique (pour les traces de ciment).

Ces acides peuvent être vendus purs ou fortement concentrés.

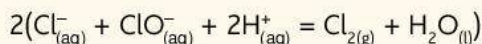
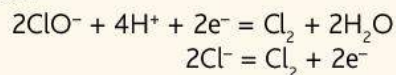
Pictogrammes de danger :



DOC. 3 Le dichlore $\text{Cl}_{2(\text{g})}$.

Ce gaz jaune-vert a une odeur suffocante très désagréable et est extrêmement toxique car il se recombine avec l'humidité des muqueuses et des poumons pour former des acides qui attaquent les tissus. Il a notamment été utilisé comme gaz de combat pendant la Première Guerre mondiale.

Formation :



1. Rechercher la signification des pictogrammes de danger (ou de sécurité) présents dans les documents.

2. Que risque-t-il de se passer si l'eau de Javel est mélangée à un acide ? Est-ce grave ?

3. Exploitation des équations menant à la formation du dichlore.

a. La formation du dichlore résulte-t-elle d'une réaction d'oxydo-réduction ou d'une réaction acido-basique ?

b. Dans l'équation de formation du dichlore, en quoi voit-on l'action d'une espèce acide ?

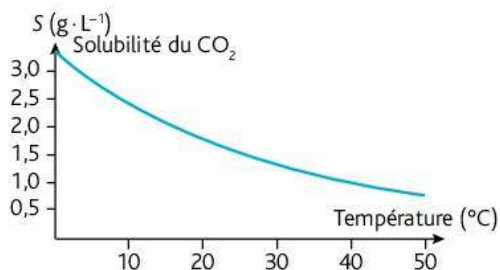
4. En admettant que lors d'une manipulation malencontreuse, il y ait eu consommation de 3,5 moles d'ions H^+ :

a. Calculer la quantité $n(\text{Cl}_2)$ de dichlore qui s'est dégagée.

b. En admettant qu'une mole de gaz occupe un volume de 24 L, en déduire le volume total de gaz dégagé lors de cette manipulation.

12 Une eau gazeuse de moins en moins gazeuse Maths

» S'approprier • Analyser



Le dioxyde de carbone est considéré comme un gaz qui se dissout très bien dans l'eau. Toutefois, cette solubilité varie en fonction de la tempéra-

ture. Un récipient contenant 2,5 L d'eau gazeuse saturée en CO_2 passe de 5 °C à 20 °C.

Parcours A

Calculer le volume de gaz qui va se dégager dans l'atmosphère.

Parcours B

- Déterminer graphiquement les solubilités du CO_2 à 5 °C et à 20 °C.
- En déduire la masse de CO_2 qui va se dégager dans l'atmosphère pour un litre d'eau, puis pour 2,5 L.
- Calculer la quantité (en moles) de CO_2 dégagée dans l'atmosphère.
- En déduire le volume de CO_2 libéré dans l'atmosphère.

Données

- Masses molaires (en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$) :
 $M(\text{C}) = 12,0$ et $M(\text{O}) = 16,0$.
- 1 mole de gaz occupe un volume de 24,0 L à 20 °C et à la pression de 10^{13} hPa.

13 Comment éliminer les métaux lourds dans les eaux ? Application technologique

» S'approprier • Réaliser

DOC. 1 La pollution aux métaux lourds.

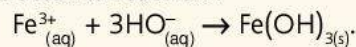
La pollution aux métaux lourds pose un problème particulier, car ils ne sont pas biodégradables. Tout au long de la chaîne alimentaire, ils peuvent se concentrer dans les organismes vivants dont certains sont consommés par l'homme. Il est donc important de développer des technologies permettant d'éliminer la présence de ces métaux dans l'eau avant de la rejeter dans la nature.

DOC. 2 Les différentes formes de l'aluminium en solution.

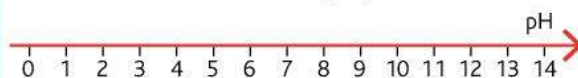
Une solution de sulfate d'aluminium contient des ions aluminium $\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})}$ et des ions sulfate $\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$.
Si le pH de cette solution dépasse 3,7 alors un précipité blanc se forme selon la réaction $\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})} + 3\text{HO}^-_{(\text{aq})} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})}$.
Ce précipité n'est pas stable si le pH dépasse 12, la réaction $\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})} \rightarrow [\text{Al}(\text{OH})_4]^-_{(\text{aq})}$ se produit alors et le précipité disparaît.

DOC. 3 Les différentes formes du fer en solution.

Une solution de sulfate de fer contient des ions fer $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}$ et des ions sulfate $\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$.
Si le pH dépasse 1,7 alors un précipité marron se forme selon la réaction :



- Résumer les résultats en utilisant une échelle de pH comme celle-ci en précisant les zones de pH dans lesquelles les différentes espèces chimiques d'aluminium et de fer sont prépondérantes.



- On dispose d'une solution contenant des ions Al^{3+} et Fe^{3+} dans la même proportion. Proposer un protocole expérimental permettant d'extraire et de séparer les ions de cette solution afin de la rendre moins polluée.

14 Oxydoréduction et acide/base, ne pas confondre !

» Mobiliser ses connaissances • S'approprier • Analyser

- Donner les définitions d'une réaction d'oxydoréduction et d'une réaction acido-basique.
- On plonge une lame de fer dans une solution d'acide chlorhydrique. On observe un dégagement gazeux et la lame métallique apparaît un peu rongée.
 - S'agit-il d'une réaction d'oxydoréduction ou acido-basique ? Quel gaz est dégagé ?
 - Écrire l'équation de la réaction entre l'acide chlorhydrique et le fer.
- On verse un peu de poudre de bicarbonate de sodium (Na^+ , HCO_3^-) dans une solution d'acide chlorhydrique. On observe un dégagement gazeux et la poudre a disparu.
 - S'agit-il d'une réaction d'oxydoréduction ou acido-basique ? Quel gaz est dégagé ?
 - Écrire l'équation de la réaction entre l'acide chlorhydrique et le bicarbonate de sodium.

Données

- Une solution d'acide chlorhydrique s'écrit :
 $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$.
- Demi-équations : $\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Fe}$ et $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2$,
 $\text{H}_3\text{O}^+ = \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$ et $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$

15 Aspirine Upsa tamponnée effervescente vitaminée C



DOC. 1 Composition.

Principes actifs (substances qui possèdent des propriétés thérapeutiques) :

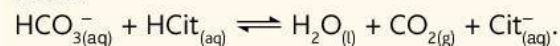
- Acide acétylsalicylique (aspirine) : 0,330 g.
- Acide ascorbique : 0,200 g.

Excipients (substances qui conditionnent le goût, l'aspect) : glycine, acide citrique, hydrogencarbonate de sodium, etc.

DOC. 2 Propriétés de l'aspirine et d'une solution tamponnée.

L'aspirine permet de combattre la fièvre, les douleurs, les inflammations et fluidifie le sang. L'aspirine n'est pas très soluble dans l'eau, certaines personnes s'en trouvent indisposées. La réaction chimique, qui libère du CO_2 sous la forme d'une effervescence, brasse la solution ; ainsi l'aspirine se dissout mieux.

Équation de la réaction permettant l'effervescence :



DOC. 3 Données physico-chimiques.

Le produit ionique de l'eau est :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{HO}^-] = 1,0 \times 10^{-14}$$

1 mole de gaz dans les conditions de l'expérience occupe un volume de 24,0 L.

Aspirine : formule brute : $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$; masse molaire : $180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

» Mobiliser ses connaissances • S'approprier • Analyser • Réaliser

Partie A

1. Quels sont les effets de l'aspirine ? Quelles différences y a-t-il entre un principe actif et un excipient ?

2. Écrire l'équation de la réaction entre l'aspirine et l'eau. En déduire que le pH de la solution obtenue sera inférieur à 7.

3. a. Écrire la demi-équation acide/base mettant en jeu l'acide citrique (on utilisera la notation simplifiée). En déduire la demi-équation acide/base mettant en jeu l'ion hydrogencarbonate $\text{HCO}_3^-{}_{(\text{aq})}$.

b. Écrire les deux couples acide/base mis en jeu.

4. Dans un comprimé, il y a 5,0 mmol d'acide citrique et 19 mmol d'hydrogencarbonate de sodium. En écartant la possibilité d'autres réactions chimiques que celle produisant l'effervescence, quel volume de CO_2 peut se dégager ?

Partie B

Un comprimé d'aspirine effervescente est placé dans un verre contenant 70 mL d'eau du robinet ; soit S_1 la solution obtenue.

1. Montrer que la concentration molaire C (en mol/L) en acide acétylsalicylique de cette solution S_1 est égale à $26 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

2. On souhaite préparer une solution S_2 , plus diluée, à partir de la solution S_1 de pH 6,2, d'un volume $V_2 = 250 \text{ mL}$ et de concentration molaire $C_2 = 2,1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ en utilisant de l'eau du robinet.

a. Indiquer le mode opératoire à suivre pour préparer cette solution.

b. Indiquer si le pH de cette solution S_2 va être supérieur ou inférieur à 6,2.

Mini-projet d'application

Comment traiter l'eau des piscines par électrolyse de l'eau salée ?



Cahier des charges à suivre

- Réaliser l'électrolyse d'une eau salée et réguler le pH.
- Identifier les paramètres (autres que le pH) à mesurer et à réguler pour le bon fonctionnement en autonomie de l'électrolyseur.



Électrolyse du sulfate de zinc
(2 min 33)



DOC. 1 Différentes méthodes pour traiter sa piscine.

Maintenir une eau propre et limpide d'une piscine pour le bon usage des baigneurs est nécessaire et obligatoire. Il existe beaucoup de méthodes différentes pour traiter l'eau d'une piscine : utilisation de chlore, de PHMB (Biguanide), d'oxygène actif, de brome...

Un moyen alternatif pour éviter d'introduire et de manipuler ces produits chimiques est d'utiliser du sel ! Le dispositif est assez contraignant et onéreux (installation d'un électrolyseur et de diverses sondes, coût allant de 1 000 € à 2 000 €) mais il est quasiment autonome et très sain pour l'environnement.

DOC. 2 Couples oxydant/réducteur mis en jeu dans une piscine.

Couple	Demi-équation
Cl_2/Cl^-	$\text{Cl}_{2(g)} + 2e^- = 2\text{Cl}_{(aq)}^-$
$\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$	$2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2e^- = \text{H}_{2(g)} + 2\text{HO}_{(aq)}^-$
Na^+/Na (qui ne joue pas de rôle ici)	$\text{Na}_{(aq)}^+ + e^- = \text{Na}_{(s)}$

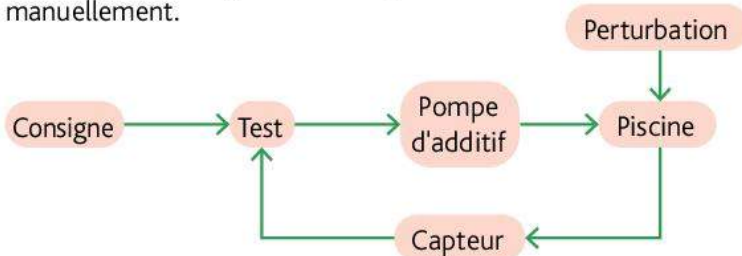
Vers le grand oral

- Quels sont les différents moyens de traiter l'eau d'une piscine ?
- Comment fonctionne une boucle de régulation ?

DOC. 3 Réguler le pH.

L'inconvénient de l'électrolyse du sel est qu'il faut surveiller attentivement le pH de l'eau : la soude produite par l'électrolyse fait varier le pH de l'eau. Celui-ci doit rester compris entre 7,2 et 7,4. Cet inconvénient peut être corrigé par l'installation d'un régulateur automatique de pH.

Il permet l'injection d'acide dans l'eau de la piscine, en fonction de la mesure effectuée par la sonde de pH. Ainsi, le pH est automatiquement régulé : il n'est plus nécessaire de le contrôler manuellement.



S'approprier le projet avant de commencer

- 1 Écrire l'équation de réaction qui traduit le bilan de l'électrolyse de l'eau salée.
- 2 Le dichlore réagit avec les ions HO^- pour donner, entre autres, les ions ClO^- et les ions Cl^- . Écrire l'équation de cette réaction.
- 3 Recopier le schéma de la boucle de régulation. Remplacer chaque terme par une indication précise qui permettra de réguler le pH.

Se préparer et réviser les acquis de 1^{re}

Pour l'enseignant

↓ Diaporama des questions flash

Questions flash



CORRIGÉS p. 300-304

Pour chaque question, trouver la ou les bonnes réponses.

13

- 1 Une onde peut être décrite comme...
 - a. un va-et-vient non local de la matière.
 - b. un va-et-vient d'une perturbation.
 - c. la propagation d'une perturbation.

- 2 Une onde peut être...
 - a. réfléchi.
 - b. absorbée.
 - c. entremise.

- 3 Une onde sonore est...
 - a. transversale.
 - b. une onde de pression de l'air.
 - c. du vent qui vibre.

- 4 Si la fréquence f augmente, alors la période T du signal périodique...
 - a. augmente.
 - b. diminue.
 - c. reste constante.

- 5 La vitesse d'une onde est égale à...
 - a. la fréquence f multipliée par la période T .
 - b. la longueur d'onde divisée par la fréquence f .
 - c. la longueur d'onde divisée par la période T .

- 6 Le niveau sonore se mesure à l'aide d'un...
 - a. débitmètre.
 - b. sonomètre.
 - c. décibelmètre.

Capacités exigibles

- Exploiter un spectre d'amplitude d'un signal périodique pour déterminer, l'amplitude et la fréquence du fondamental et des harmoniques présents.
- Définir et distinguer la notion de timbre et de hauteur.
- Exploiter des informations relatives aux courbes de sensibilité de l'oreille humaine.
- Mettre en évidence expérimentalement les phénomènes de transmission ou d'absorption d'un son par différents matériaux.


Activités 1 3

Activités 1 3

Activité 2

Activité 4

Les ondes sonores

Lien vidéo  Les harmoniques d'une note (2 min 36) 



Les ondes sonores font partie de notre environnement. Elles sont parfois harmonieuses et appréciées mais aussi parfois source de désagréments... Les connaître et les étudier est fondamental.



Liens avec les maths

- Fonctions périodiques, fonctions trigonométriques. **Activités 1 3**
- Fonction logarithme décimal. **Activité 2**
- Exploitation de courbes. **Activités 1 2 3**

Activités



- 1 Le son, c'est complexe !
- 2 Caractéristiques et limites de l'oreille
- 3 Comment manipuler les sons ?
- 4 Quel matériau choisir pour une bonne isolation acoustique ?

documentaire

documentaire

expérimentale

expérimentale

Le son, c'est complexe ! Audacity Fiche méthode 15, p. 294.

Capacité

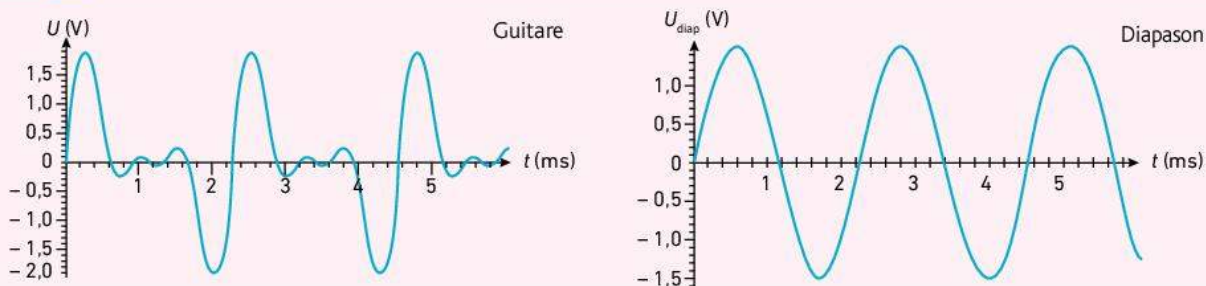
Comprendre qu'un signal périodique quelconque peut être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux.

Objectif

Comprendre pourquoi un musicien n'entend qu'un seul son lorsqu'un instrument de musique émet une note

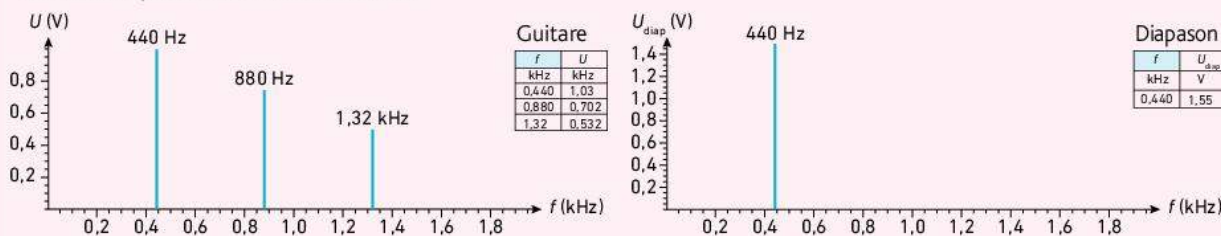


DOC. 1 Visualisation du son complexe de la guitare et du son pur du diapason.




DOC. 2 Spectre d'amplitude du son complexe de la guitare et du son pur du diapason.

Le son complexe est constitué de son fondamental et de ses harmoniques, alors que le son pur n'est constitué que de son fondamental.



DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

- 1 **» S'approprier • Réaliser** À l'aide du document 1, vérifier que les deux sons ont bien la même période T , en déduire leur fréquence f .
- 2 **» S'approprier** Quelles sont les grandeurs physiques utilisées (ainsi que leurs unités) dans un spectre d'amplitude (doc. 2) ?
- 3 **» S'approprier**
 - a. Combien y a-t-il de signaux dans le spectre d'amplitude de l'instrument ?
 - b. Quelles sont les valeurs de la fréquence f_1 du fondamental et des harmoniques f_k de rang k ?
 - c. Répondre aux mêmes questions pour le diapason.

 Appeler l'enseignant pour vérifier les réponses.
- 4 **» Valider** Vérifier la relation mathématique entre la fréquence f_1 du fondamental et les fréquences f_k des harmoniques de rang k : $f_k = k \cdot f_1$.

Conclusion

Expliquer pourquoi un musicien entend la même note que le son soit pur ou complexe.

Caractéristiques et limites de l'oreille

Pour l'enseignant
Grille d'auto-évaluation

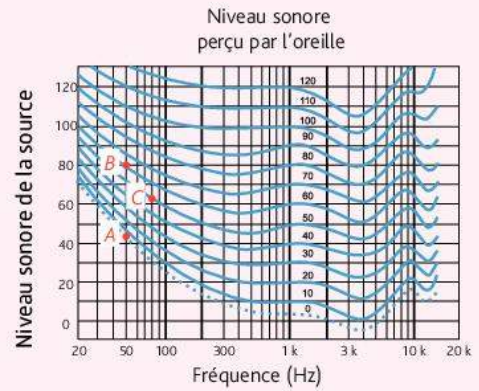
Capacité Exploiter des informations relatives aux courbes de sensibilité de l'oreille humaine (fréquences audibles, seuil d'audibilité, seuil de douleur, etc.).

Objectif Effectuer le contrôle d'un smartphone afin de l'homologuer.



DOC. 1 Diagramme d'audibilité.

- Si deux points sont sur la même courbe, on ne peut pas dire lequel des deux sons est le plus intense alors qu'ils n'ont ni la même fréquence ni le même niveau sonore.
- Ainsi la courbe de niveau 0 dB (décibel) correspond au « minimum audible ».
- Le point A d'abscisse 50 Hz et d'ordonnée 42 dB symbolise un son de fréquence 50 Hz, l'oreille ne pourra le détecter que si son niveau sonore dépasse 42 dB.
- Le point B d'abscisse 50 Hz et d'ordonnée 80 dB se situe sur la courbe isosonique de 60 dB. Cela signifie que ce son de fréquence 50 Hz doit avoir un niveau sonore de 80 dB pour être perçu par l'oreille avec un niveau de 60 dB.



DOC. 2 Intensité acoustique et niveau sonore

- **L'intensité acoustique** I en watts par mètre carré ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$), est la puissance par unité de surface transportée par les ondes sonores. La plus petite intensité acoustique audible est $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (pour une fréquence de 1 kHz). Le **niveau sonore** L en décibels (dB), est calculé à partir de l'intensité acoustique I par la relation : $L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$.
- On peut déduire l'intensité sonore I du niveau sonore L par la relation :

$$I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}}$$

Liens avec les maths

Les fonctions logarithme de x , notée $\log(x)$, et 10 puissance x , notée 10^x , sont réciproques : $\log(10^x) = x$ et $10^{\log(x)} = x$.

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

- 1 » **S'approprier** L'oreille humaine est-elle plus performante pour les sons graves ou aigus ?
- 2 » **Réaliser** Déterminer les coordonnées du point C en indiquant les unités. Quelle est la particularité de l'axe des abscisses ?
- 3 » **S'approprier** • **Réaliser** Quel est le niveau sonore L du son (perçu par l'oreille) correspondant au point C ? En déduire l'intensité I du son correspondant au point C.
- 4 » **Communiquer** On souhaite créer un son de 40 Hz de même niveau sonore (70 dB) perçu par l'oreille qu'un son de 1 000 Hz. Quel doit être le niveau sonore de ce son ?
📞 Appeler l'enseignant pour vérifier la réponse donnée.

Conclusion

Lors d'un contrôle d'homologation d'un smartphone, un technicien a relevé une intensité acoustique de $50,3 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$. Sachant que le niveau sonore ne doit pas dépasser 95 dB, ce smartphone peut-il être commercialisé en l'état ?



45 min

Comment manipuler les sons ?

Capacités

- Exploiter un spectre d'amplitude d'un signal périodique pour déterminer, l'amplitude et la fréquence du fondamental et des harmoniques présents.
- Définir et distinguer la notion de timbre et de hauteur.

Objectif du TP

Analyser un son, puis de tenter de le reconstruire de manière artificielle.

Lorsqu'on entend une note jouée par un piano, on identifie tout de suite l'instrument de musique. Comment fait-on ? La caractéristique essentielle d'un son est sa fréquence appelée aussi « son fondamental ». Mais sa richesse, son timbre, proviennent d'une multitude de sons cachés qui suivent une suite logique : les harmoniques.

MATÉRIEL

- Un PC avec le logiciel Audacity et un microphone.

Fiche méthode 15, p. 294.

À chaque étape, effectuer les captures d'écran qui permettront de rédiger un compte rendu.

ÉTAPE 1 Enregistrer un son

1. Chanter la lettre « a » et enregistrer ce son avec le logiciel Audacity et un microphone.
2. Isoler la partie intéressante du spectre.
3. Enregistrer le fichier obtenu au format MP3.
4. Zoomer une partie de l'enregistrement et identifier s'il s'agit d'un son pur ou complexe.
5. Déterminer la période T et la fréquence f du signal.

ÉTAPE 2 Analyser un son

1. Décomposer le son enregistré en son fondamental et ses harmoniques, en utilisant la fonction « Tracer le spectre » dans le menu « Analyse ».
2. Obtenir un graphique exploitable, en faisant varier la « Taille » et en choisissant pour « Axe » soit « Fréquence linéaire » soit « Fréquence logarithmique ». Le but est d'obtenir des pics bien visibles.
3. Pour chaque pic intéressant, relever sa fréquence et son atténuation en dB (liée à son amplitude).
4. Vérifier la relation $f_k = k \cdot f_1$.

ÉTAPE 3 Générer un son

Le but est de générer un son complexe à partir d'un son fondamental et de ses harmoniques de rang 2 et 3.

1. Dans le menu « Générer », choisir « Tonalité » et générer un son de forme sinusoïdale, de fréquence 440 Hz, d'amplitude 1,2 et d'une durée de 6 s.
2. De même, générer un son de fréquence $f_2 = 880$ Hz et d'amplitude 0,8 (en suivant le chemin « Pistes\Ajouter nouvelle\piste mono »).
3. Enfin générer un son de fréquence $f_3 = 1\,320$ Hz et d'amplitude 0,6.
4. Décaler les deux harmoniques afin que l'harmonique de rang 2 débute 2 s après le fondamental et que l'harmonique de rang 3 débute 4 secondes après le fondamental.
5. Écouter le son généré.

Conclusion du TP

Que signifie la phrase : « Deux instruments de musique n'ont pas le même timbre » ?

Quel matériau choisir pour une bonne isolation acoustique ?



1h30

Capacité

Mettre en évidence expérimentalement les phénomènes de transmission ou d'absorption d'un son par différents matériaux.

Objectif du TP

Choisir quel matériau utiliser pour recouvrir la paroi.

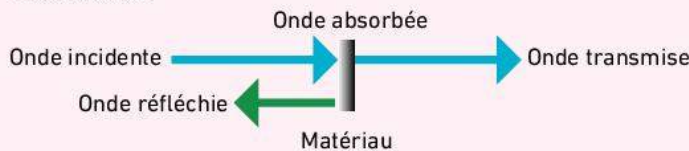
On cherche à isoler une paroi entre deux pièces afin de minimiser l'inconfort lié au bruit.

ÉTAPE 1 Mettre en évidence l'absorption acoustique d'un matériau

1. Alimenter un haut-parleur à l'aide d'un générateur basse fréquence (GBF).
2. Régler le GBF afin d'obtenir un signal sinusoïdal, de fréquence 500 Hz et d'amplitude raisonnable afin d'entendre un son agréable.
3. Placer le sonomètre à 50 cm du haut-parleur et noter le niveau sonore L_1 .
4. Sans bouger ni le sonomètre ni le haut-parleur, placer une paroi (en mousse, en carton, etc.) et mesurer le niveau sonore L_2 .
5. Calculer l'indice d'affaiblissement acoustique avec la relation : $R = L_1 - L_2$.

DOC. Trajet d'une onde.

Lorsqu'une onde rencontre un matériau, elle est transmise (traversée), réfléchi et absorbée par ce matériau.



ÉTAPE 2 Mesurer le coefficient de transmission T

- Selon la nature du matériau, la transmission, la réflexion et l'absorption seront différentes pour une même onde incidente.
- On définit le coefficient de transmission énergétique T d'un matériau :

$$T = \frac{\text{Puissance de l'onde transmise}}{\text{Puissance de l'onde incidente}} = \frac{P_T}{P_I}$$

Avec P_T : puissance de l'onde transmise et P_I : puissance de l'onde incidente.

Soit U_{ct} l'amplitude crête à crête de l'onde transmise et U_{ci} l'amplitude crête à crête de l'onde incidente. La puissance d'une onde étant proportionnelle au carré de l'amplitude du signal, on peut écrire que : $P_T = k \cdot U_{ct}^2$ et $P_I = k \cdot U_{ci}^2$.

1. Montrer que le coefficient de transmission T peut s'écrire : $T = \left(\frac{U_{ct}}{U_{ci}}\right)^2$.
2. Rédiger un protocole permettant de déterminer lequel des matériaux disponibles permet la meilleure isolation phonique (on utilisera des ultrasons afin de ne pas gêner le travail des autres groupes).
3. **Mesure et incertitudes** Calculer l'incertitude de mesure $u(U_{ci})$ de la tension du signal incident U_{ci} .

Conclusion du TP

Parmi les matériaux testés lors de cette séance, lequel semble le plus adapté pour isoler phoniquement deux pièces séparées par une cloison ?

MATÉRIEL

- Un oscilloscope.
- Un GBF (générateur basse fréquence).
- Un petit haut-parleur.
- Un module générateur d'ultrasons avec un émetteur et un récepteur ultrasons.
- Un sonomètre.
- Des plaques de différents matériaux.
- Des fils de connexion.

A Le son

COURS

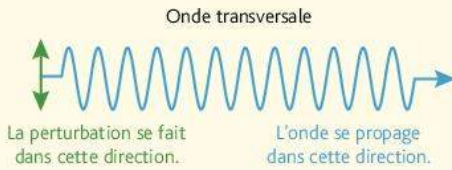
1 Notion d'onde

- Une onde est la **propagation d'une perturbation** dans un milieu (matériel ou non).
- Une **onde** transporte de l'énergie mais pas de matière.
- Les **ondes mécaniques** nécessitent un milieu matériel (gaz, liquide, solide) pour se propager.
- Les **ondes électromagnétiques** peuvent se propager aussi bien dans un milieu matériel que dans le vide.

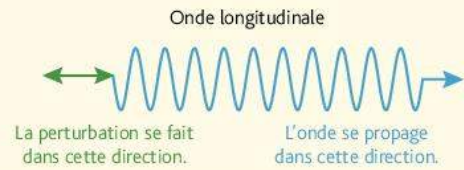


2 Propriétés des ondes

- **Ondes transversales** : la direction de la perturbation est perpendiculaire à celle de la propagation.



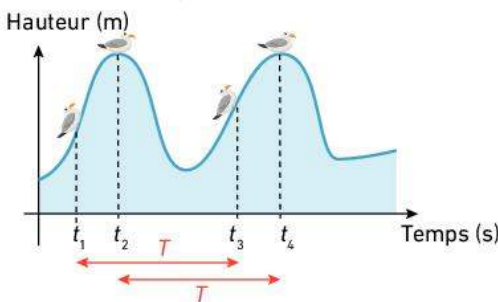
- **Ondes longitudinales** : la perturbation se fait dans la même direction que la propagation.



3 Cas des ondes périodiques

- Lorsque la perturbation se répète, on parle d'ondes périodiques ou d'oscillations.
- Les deux grandeurs physiques qui caractérisent une onde de propagation sont :
 - La **période T** (en secondes : s) est la plus petite durée au bout de laquelle un point du milieu de propagation se retrouve dans le même état physique. C'est la durée d'une oscillation.

Exemple : L'oiseau posé sur l'eau a un mouvement vertical de montée-descente. La durée d'une montée-descente est la période T .



- La **fréquence f** (en hertz : Hz) est le nombre de fois que cette perturbation se reproduit en une seconde.

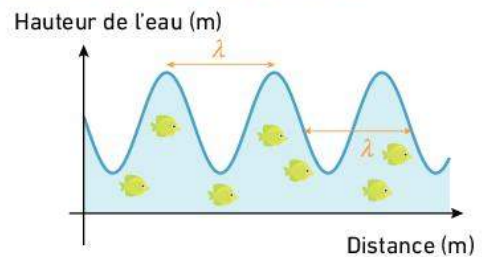
Ces grandeurs sont invariables même lors d'un changement de milieu.

- Relation entre la période et la fréquence :

$$f = \frac{1}{T} \Leftrightarrow T = \frac{1}{f}$$

- Il existe deux autres grandeurs mais qui dépendent du milieu de propagation :
 - La **longueur d'onde λ** (en mètres : m) est la plus petite distance séparant deux points

Exemple : Plusieurs points de l'eau constituent le sommet d'une vague au même instant. Ils sont tous à égale distance : la longueur d'onde λ .



- La **vitesse V ou C_{onde}** (en mètres par seconde : m.s⁻¹) est la vitesse à laquelle l'onde se propage dans le milieu.

$$V = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f \text{ avec } \lambda \text{ en m, } T \text{ en s, } f \text{ en Hz.}$$

4 Intensité acoustique et niveau sonore

- L'intensité acoustique I est la puissance par unité de surface transportée par les ondes sonores : $I = \frac{P}{S}$, où P représente la puissance du son reçu par un récepteur de surface S , avec I en watts par mètre carré ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$), P en watts (W) et S en mètres carrés (m^2).

- Le niveau sonore L est calculé à partir de l'intensité acoustique I par la relation :

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right), \text{ avec } L \text{ en décibels (dB),}$$

$$I \text{ (} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{) et } I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$$

- Le niveau sonore se mesure avec un **sonomètre**, des applications permettent de le mesurer avec un téléphone portable.
- Nos oreilles peuvent être endommagées irréremédiablement si le niveau sonore et la durée d'exposition au bruit sont trop importants.

INFOS FLASH

La plus petite intensité acoustique audible par l'oreille humaine est $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (pour une fréquence de 1 kHz).

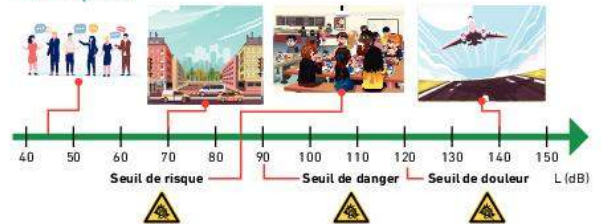
Liens avec les maths

Déduire l'intensité acoustique I du niveau sonore L :

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \Leftrightarrow \frac{L}{10} = \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \Leftrightarrow 10^{\frac{L}{10}} = \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

$$\Leftrightarrow I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}} = I \Leftrightarrow I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}}$$

Exemples :



B Les sons et les signaux

COURS

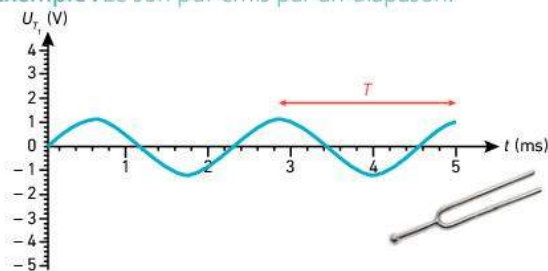
1 Son pur et son complexe

- Les sons sont des exemples d'ondes mécaniques périodiques. Leur analyse montre que leur composition répond à des critères mathématiques très précis.

- Un son est pur ou complexe :

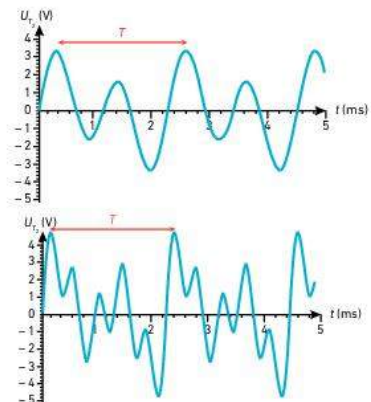
→ **Pur** si le signal varie en fonction du temps avec un motif sinusoïdal.

Exemple : Le son pur émis par un diapason.



→ **Complexe** si cette variation n'est pas sinusoïdale

Exemples : Sons complexes qui auraient pu être émis par deux instruments de musique tels qu'un violoncelle ou un piano.

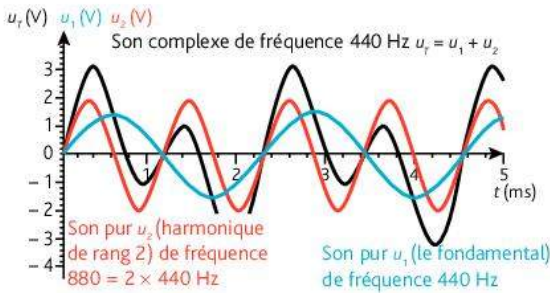


- Les trois sons ont la même hauteur car les trois signaux ont la même période ($T = 2,27 \text{ ms}$) et donc la même fréquence ($f = 440 \text{ Hz}$). Pourtant l'oreille humaine distingue ces trois sons car leurs timbres sont différents.

2 Analyse d'un son : spectre d'amplitude

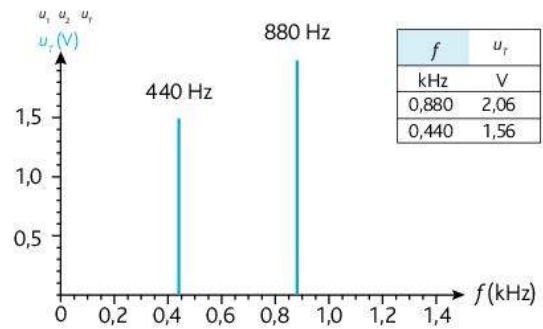
- L'analyse spectrale (ou décomposition de Fourier) met en évidence les différences entre deux sons de même hauteur (donc de même fréquence). Un signal sonore peut être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux : le **fondamental** et les **harmoniques**.

Exemple : Le son complexe perçu (courbe noire) apparaît comme la somme des signaux u_1 et u_2 (courbe bleue : le fondamental, courbe rouge : harmonique de rang 2).



- La plus petite fréquence non nulle du spectre est appelée **fondamentale** (ou fréquence du fondamental). Elle correspond à l'inverse de la période du signal $f_1 = 1/T_1$.
- La fréquence f_k de l'**harmonique** de rang k est liée à la fréquence f_1 du fondamental par : $f_k = k \times f_1$.

- Le **spectre d'amplitude** est la représentation de l'**amplitude** de chaque fonction sinusoïdale en fonction de la **fréquence**.



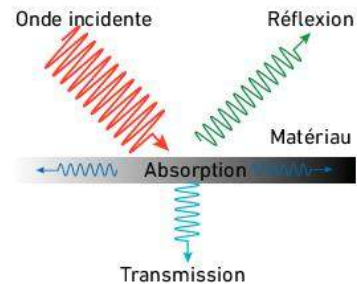
C Transmission et absorption

- Lorsqu'une onde rencontre un matériau, cette onde est transmise, réfléchie et absorbée par ce matériau. Suivant les propriétés de l'onde et du matériau, ces trois phénomènes n'ont pas la même importance relative.

- Les nuisances sonores ayant un impact non négligeable dans notre vie quotidienne, on cherche souvent à atténuer les sons (et les bruits) en utilisant divers matériaux et diverses techniques afin de garantir un confort acoustique pour les occupants.

- On définit ainsi l'Indice d'Affaiblissement Acoustique (noté R) d'un matériau : $R = L_1 - L_2$, avec $L_1 = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right)$ et $L_2 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right)$.

- Plus R est élevé et plus le matériau est un bon isolant phonique.



INFOS FLASH

95 % des Français souhaitent avoir moins de bruit chez eux !

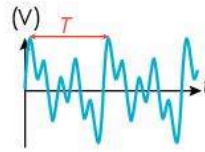


A. Le son

Le son

Quelle définition ?

Onde mécanique périodique



La période T et la fréquence f : $f = \frac{1}{T}$

Sons audibles : $20 \text{ Hz} \leq f \leq 20 \text{ kHz}$

Grandeurs caractéristiques

La longueur d'onde λ

La vitesse : $f = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$

Dans l'air : $C = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Quel niveau ?

Intensité acoustique I
(en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) $I = \frac{P}{S}$

Seuil d'audibilité : $I_0 = 1,0 \times 10^{-14} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Niveau sonore L (en dB)
 $L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \Leftrightarrow I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}}$

Seuil de danger : $L \geq 95 \text{ dB}$

Seuil de douleur : $L \geq 105 \text{ dB}$

B. Les sons et les signaux

Comment les distinguer ?

Son pur



Son complexe



Fondamental et harmoniques $f_k = k \cdot f_1$

$u_T = u_1 + u_2 + \dots + u_k$

Hauteur d'un son

Caractérisée par la fréquence du fondamental

Deux sons de timbres différents ?

Deux sons de même fréquence

Répartition différente des harmoniques

C. Transmission et absorption

Comment les caractériser ?

Mesures de niveaux sonores

Sonomètre (dB)

Grandeurs caractéristiques

Coefficient de transmission, d'absorption

Indice d'affaiblissement acoustique (IAA)

$$R = L_1 - L_2$$

Questions flash  Pour chaque question, trouver la ou les bonne(s) réponse(s).

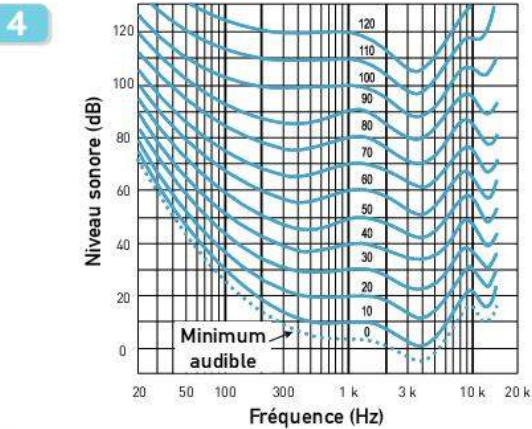


CORRIGÉS p. 300-304

- 1** Un son peut être...
- pur.
 - impur.
 - complexe.

- 2** Deux notes de même fréquence...
- ont le même spectre d'amplitude.
 - ont la même hauteur.
 - peuvent avoir des harmoniques différents.

- 3** Un son peut être décomposé...
- en une somme de sons purs.
 - en une multiplication par un entier non nul.
 - en un son fondamental et ses harmoniques.



- Ce graphique ...
- indique que les sons les moins bien perçus par l'oreille humaine ont une fréquence comprise entre 3 kHz et 5 kHz.
 - indique que les sons graves sont moins bien perçus par l'oreille humaine.
 - comporte une échelle des abscisses logarithmique et une échelle des ordonnées linéaire.

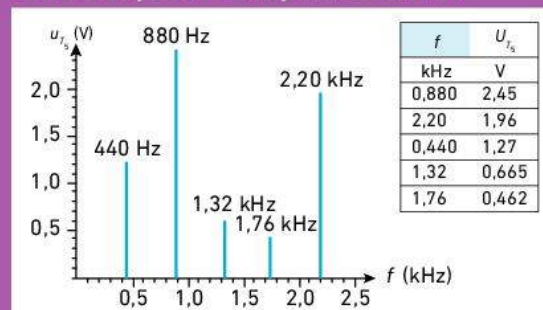
- 5** Le niveau sonore d'un lave-linge peut être de...
- 25 dB.
 - 75 dB.
 - 125 dB.

- 6** Un son, lorsqu'il rencontre une paroi, peut...
- se réfléchir dessus.
 - être absorbé par le matériau qui constitue la paroi.
 - traverser la paroi, au moins en partie.

Vrai ou Faux ? Pour chaque proposition, déterminer si elle est vraie ou fausse.

- Un son de période 25 ms a une fréquence de 40 mHz.
- Un son de fréquence 1 000 Hz, se propageant dans l'air, a une longueur d'onde de 34 cm.
- Un son de longueur d'onde 17 cm, se propageant dans l'air, a une hauteur de 2,0 kHz.
- Une perceuse émet un signal sonore de 95 dB. L'intensité acoustique correspondante est $3,2 \times 10^{-3}$ W.
- L'intensité sonore perçue par une oreille est $I = 1,7 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, le niveau sonore est $L = 82$ dB.

- 6** L'analyse d'un son émis par un violon donne le spectre d'amplitude suivant.



La hauteur de ce son est 2,5 V.

A Le son

1 Vitesse d'une onde et longueur d'onde

La fréquence et la période sont les seules propriétés des ondes qui sont conservées lors d'un changement de milieu de propagation. Une onde sonore de fréquence 271 Hz se propage dans l'air et vient, notamment, frapper un aquarium.

- Calculer sa longueur d'onde λ_{air} dans l'air.
- Déterminer la valeur de la longueur d'onde λ de cette même onde dans l'eau.

Données

Vitesse d'une onde sonore : dans l'air $C_{\text{air}} = 340 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$;
dans l'eau $C_{\text{eau}} = 1,5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

2 Plus c'est loin et moins c'est fort !



Un bipeur émet un son d'une fréquence de 2,8 kHz et d'intensité sonore de $3,7 \cdot 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ à 204 cm de la source sonore.

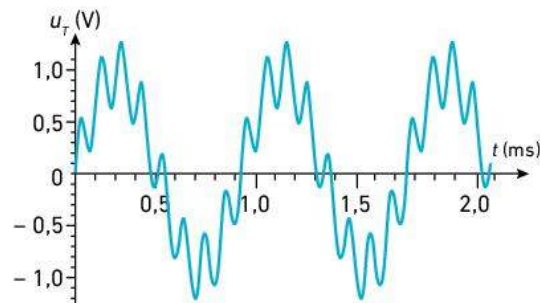
L'intensité acoustique est modélisée par la relation $I = \frac{P}{4\pi d^2}$ dans laquelle P est la puissance véhiculée par l'onde et d la distance entre l'émetteur et le récepteur.

- Calculer la puissance véhiculée par l'onde.
- La puissance étant constante pendant le trajet, calculer l'intensité acoustique à 507 cm.
- Calculer le niveau sonore correspondant à chaque intensité.

B Les sons et les signaux

3 Pur ou complexe ?

À l'aide d'un logiciel dédié, on a synthétisé le signal suivant.



- Ce signal représente-t-il un son pur ou un son complexe ?

4 Concert de guitares

Lors de l'émission de plusieurs sons, ce sont les intensités acoustiques et non les niveaux sonores qui s'ajoutent. Une guitare émet un son de niveau sonore de 45 dB à une distance de quelques mètres.

- Calculer l'intensité acoustique du son émis par une seule guitare.
- Combien faut-il de guitares identiques pour obtenir un niveau sonore de 54 dB ?

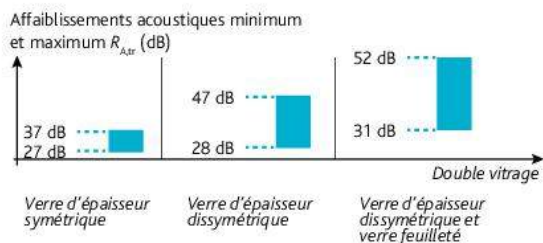
Données

$$I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}} \text{ avec } I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$$

C Transmission et absorption

5 Des fenêtres performantes

Graphes des performances min. et max. des vitrages isolants selon leur composition



Source : d'après le site www.france.sggs.com (document pdf MEMENTO-2019 p 112).

Pour un double vitrage symétrique, l'atténuation du son est de 27 dB à 37 dB selon la fréquence de l'onde.

- Quel est l'effet de l'utilisation du double vitrage dissymétrique par rapport au symétrique ?
- On souhaite équiper une pièce avec des fenêtres ayant un double vitrage avec verre dissymétrique et feuilleté. Une mesure du niveau sonore dans la rue indique 73 dB. Quelle est la valeur du niveau sonore maximal qui pourrait être obtenu dans la pièce ainsi équipée ?
- D'après vous, pourquoi le double vitrage avec verre dissymétrique et verre feuilleté n'est pas souvent utilisé dans les habitations ?

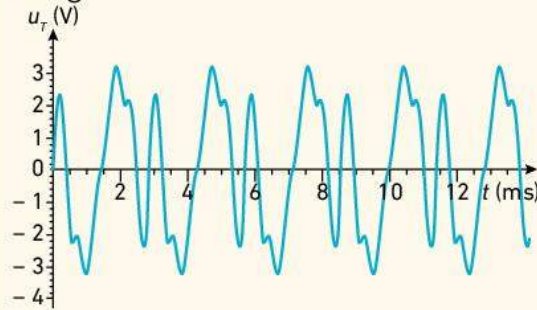


6 L'intensité acoustique

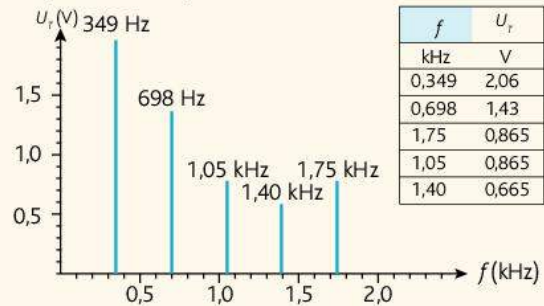
À l'aide d'un logiciel adapté, une note émise par un instrument de musique a été enregistrée et son spectre d'amplitude établi. Le niveau sonore enregistré est de 77 dB.

DOC. 1 Résultats de l'enregistrement et spectre d'amplitude.

• Enregistrement du son



• Spectre d'amplitude



DOC. 2 Extrait de la gamme tempérée (octave 3).

Note	DO	RÉ	MI	FA	SOL	LA	SI
Fréquence (Hz)	261,63	293,66	329,63	349,23	392,00	440,00	493,88

1. À l'aide de l'enregistrement, déterminer de quelle note il s'agit.
2. Le spectre d'amplitude proposé peut-il correspondre au son enregistré ?
3. Calculer l'intensité acoustique du son émis par l'instrument de musique.

RÉSOLUTION DÉTAILLÉE

1 Il faut calculer la fréquence f du signal à l'aide de l'enregistrement du document 1 et non son spectre d'amplitude. Celui-ci permet de déterminer la période T du signal puis, avec la relation $f = \frac{1}{T}$, on peut calculer la fréquence.

Application numérique : $4T = 11,5 \text{ ms}$ donc $T = \frac{11,5}{4} = 2,875 \text{ ms}$.

$$f = \frac{1}{2,875 \times 10^{-3}} = 348 \text{ Hz}$$

Conclusion : la note est un fa.

2 Il faut que la hauteur du son corresponde à la fréquence f_1 de son fondamental et vérifier la présence d'harmoniques car l'enregistrement ne montre pas un motif sinusoïdal. Le pic le plus à gauche a une fréquence de 349 Hz, soit un fa. D'autres pics qui vérifient la relation $f_k = k \times f_1$, sont présents. Cela correspond à un son complexe.

Conclusion : le spectre d'amplitude peut correspondre au son enregistré.

3 Il faut savoir isoler l'intensité acoustique I à partir de la relation suivante :

$$L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \Leftrightarrow \frac{L}{10} = \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \Leftrightarrow 10^{\frac{L}{10}} = \frac{I}{I_0} \Leftrightarrow I_0 \times 10^{\frac{L}{10}} = I \Leftrightarrow I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$$

Application numérique :

$$I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}} = 1,0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{77}{10}} = 1,0 \times 10^{-12} \times 10^{7,7} = 1,0 \times 10^{-12+7,7} = 1,0 \times 10^{-4,3} = 5,0 \times 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Mesure et incertitudes

- Ne pas utiliser les chiffres significatifs pour chaque étape de calcul sinon on perd en précision.
- Toujours mesurer le plus de périodes possible pour une meilleure précision !

Aide

Penser à convertir les millisecondes en secondes !

Liens avec les maths

La fonction logarithme étant prioritaire sur la multiplication, pour isoler I , il faut d'abord utiliser la division (fonction réciproque de la multiplication), puis utiliser la fonction 10^x (fonction réciproque de la fonction $\log(x)$). Ne pas laisser une puissance de 10 avec un exposant non entier, il faut effectuer le calcul.



7 Caractéristiques d'une onde sonore

» Mobiliser ses connaissances

Lors d'une expérience de démonstration, un haut-parleur est alimenté par un générateur basse fréquence (GBF). On s'intéresse au mouvement des molécules qui composent l'air. Les deux schémas ci-dessous représentent la position des molécules à un instant t .

DOC. Expérience avec un haut-parleur.



a) Le haut-parleur ne fonctionne pas.



b) Le haut-parleur fonctionne.

1. Dans la première partie de l'expérience, l'amplitude est réglée au maximum, la tension d'alimentation est sinusoïdale et la fréquence utilisée est de 1 Hz.

- Décrire le mouvement de la membrane.
- Expliquer pourquoi le mouvement de la membrane ne génère pas un son audible.
- Quel type d'onde est généré ?

2. La fréquence du signal est ensuite réglée sur 800 Hz sans changer les autres réglages.

- Expliquer pourquoi un son est perçu.
- Pourquoi est-on obligé d'abaisser l'amplitude du signal tellement le son est fort ?

3. La fréquence du signal est réglée sur 1 200 Hz. La forme du signal est triangulaire.

- Calculer la valeur de la période T de ce son.
- Calculer la longueur d'onde λ de ce signal. Quelle sera sa valeur si la forme du signal redevient sinusoïdale ?

Données

- Le diagramme de sensibilité de l'oreille humaine page 243.
- La vitesse du son dans les conditions de l'expérience est : $c_{\text{son}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- Domaine audible pour l'oreille humaine : 20 Hz à 20 kHz.

8 Accorder un instrument

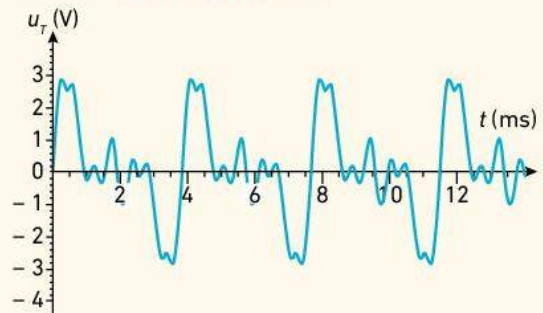
Maths

» Analyser • Réaliser

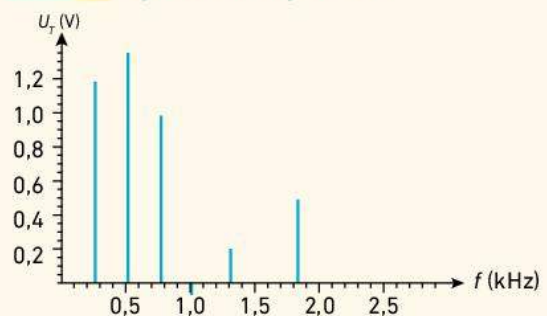
Afin de vérifier son travail, un accordeur a effectué l'enregistrement d'une note émise par un instrument de musique. Il veut savoir si le son émis est bien un mi.



DOC. 1 Enregistrement du son de l'instrument.



DOC. 2 Spectre d'amplitude.



Extrait de la gamme tempérée (octave 3) :

Note	DO	RÉ	MI	FA
Fréquence (Hz)	261,63	293,66	329,63	349,23
Note	SOL	LA	SI	
Fréquence (Hz)	392,00	440,00	493,88	

1. Étude de l'enregistrement.

- Le son émis est-il pur ou complexe ?
- Quelle est la hauteur de la note émise ? L'instrument est-il correctement accordé ?

2. Étude du spectre d'amplitude.

- Déterminer, le plus précisément possible, la fréquence et l'amplitude de chaque pic.
- Indiquer la fréquence fondamentale et la fréquence de chaque harmonique en citant son rang.
- L'enregistrement peut-il correspondre au spectre proposé ?

9 La richesse d'un son

Maths

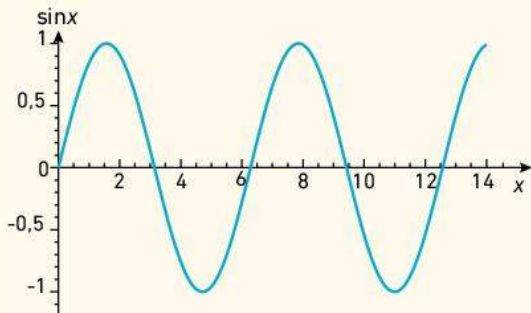
» S'approprier • Réaliser

En mathématiques, une même fonction peut modéliser beaucoup de situations qu'on rencontre dans la vie courante. Par exemple, les fonctions sinus et cosinus évoquent plus spontanément les angles que la musique.



DOC. 1 La fonction sinus.

La fonction mathématique $\sin(x)$ est une fonction continue périodique, définie sur \mathbb{R} et bornée entre -1 et $+1$. Sa représentation graphique est la suivante.



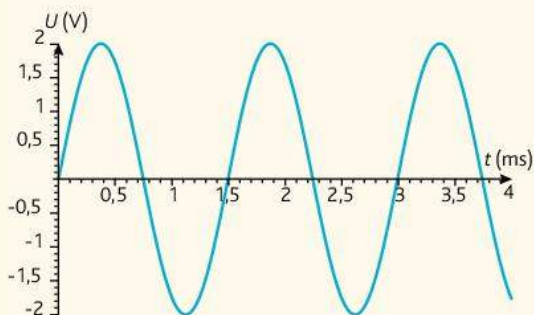
DOC. 2 Évolution de la tension électrique.

L'évolution de la tension électrique (au cours du temps) aux bornes d'un microphone est le reflet de l'évolution de la pression acoustique qui résulte de la propagation d'une onde sonore.

Pour un son pur, cette évolution peut être modélisée de cette façon pour une fréquence de 659 Hz et une amplitude de 2,0 V :

$$U = 2,0 \sin(2\pi \times 659 \times t).$$

Sa représentation graphique est :



Aide

Un son peut toujours être décomposé sous la forme d'une somme de sons purs (le fondamental et ses harmoniques de rang k) dont les fréquences respectives sont liées par la relation : $f_k = k \times f_1$.

1. À l'aide de votre calculatrice ou d'un tableur-grapheur, tracer la courbe de la fonction : $Y_1 = 2,0 \times \sin(2\pi \times 659 \times X)$. Dans tous les cas, il faudra travailler en radians.
2. Tracer la courbe de la fonction $Y_2 = 1,4 \times \sin(2\pi \times 2 \times 659 \times X)$.

3. Tracer la courbe de la fonction

$$Y_3 = 0,8 \times \sin(2\pi \times 3 \times 659 \times X).$$

4. Tracer la courbe de la fonction

$$Y_4 = Y_1 + Y_2 + Y_3 = 2,0 \times \sin(2\pi \times 659 \times X) + 1,4 \times \sin(2\pi \times 2 \times 659 \times X) + 0,8 \times \sin(2\pi \times 3 \times 659 \times X).$$

5. Quelles sont les fréquences des signaux correspondant aux courbes Y_1 , Y_2 , Y_3 et Y_4 ?
6. Comment appelle-t-on la fréquence la plus petite ? Comment appelle-t-on les autres fréquences ?

10 Les dangers des nuisances sonores et leur prévention

» S'approprier • Réaliser



Le Code du travail prévoit qu'un travailleur dont l'exposition au bruit dépasse 80 dB(A) de niveau d'exposition quotidienne (8h de travail) ou 135 dB(C) de niveau de pression acoustique de crête, peut bénéficier, à sa demande ou à celle du médecin du travail d'un examen audiométrique préventif. Cet examen a pour objectif le diagnostic précoce de toute perte auditive due au bruit et la préservation de la fonction auditive, lorsque l'évaluation et les mesurages révèlent un risque pour la santé du travailleur (article R. 4435-2).

Source : INRS.

Données

Seuil d'audition pour une oreille humaine (en bonne santé et à 1 kHz) : $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

1. À quel niveau sonore moyen ne doit pas être exposé un travailleur pendant plus de huit heures ? À quel niveau sonore instantané ne doit pas être exposé un travailleur ?
2. Calculer l'intensité acoustique ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) pour chacune des deux valeurs seuil de niveau sonore évoquées dans le code du travail.
3. Quels types de prévention peuvent utiliser l'employeur et le travailleur pour réduire les risques pour la santé ?

11 Choisir un aspirateur Application technologique

» Analyser • Réaliser

Un client hésite entre deux aspirateurs, ce n'est pas le seul critère de choix mais le bruit émis est important pour ce client. Il se demande si la différence entre les deux a une réelle incidence pour sa santé :

- Un aspirateur de marque Aspifor a un niveau sonore de l'ordre de 73 dB.
- Un aspirateur de marque Voraçor a un niveau sonore de l'ordre de 78 dB.

Parcours A

Combien d'aspirateurs de la marque Aspifor faut-il faire fonctionner ensemble pour faire autant de bruit que l'aspirateur de la marque Voraçor ?

Parcours B

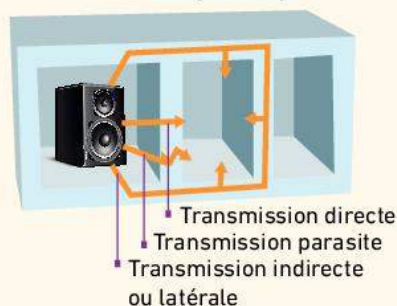
1. Écrire la relation entre l'intensité acoustique et le niveau sonore.
2. Calculer l'intensité acoustique I du bruit émis par chaque aspirateur.
3. Calculer le rapport entre les deux intensités acoustiques en divisant la plus élevée par la moins élevée.
4. En déduire le nombre d'aspirateurs de la marque Aspifor nécessaires pour faire autant de bruit que l'aspirateur de la marque Voraçor.

12 S'isoler du bruit Application technologique

» S'approprier

DOC. 1 Les chemins du bruit.

Le bruit circule partout où il y a de l'air (émission directe), mais il emprunte tous les chemins possibles (émission indirecte) : la réflexion, la transmission directe à travers les parois et la transmission indirecte par les parois.



Il existe ainsi deux types de traitements acoustiques dans le bâtiment :

- l'isolation acoustique afin de réduire le passage du bruit d'une pièce à l'autre ou de l'extérieur à l'intérieur ;
- la correction acoustique afin de réduire le bruit dans une pièce (à l'aide de matériaux absorbants sur les parois verticales et horizontales).

DOC. 2 Les différents types de bruits.

On cherche souvent à minimiser le bruit d'une pièce à l'autre (isolation acoustique). On définit plusieurs types de bruits dont on veut minimiser la transmission : les bruits aériens (la voix, la musique, etc.), les bruits de chocs (bruits de pas, d'objets qui tombent, etc.) et les bruits d'équipements (ventilateur, VMC, moteurs électriques, etc.).

1. Selon la situation, classer le bruit entendu dans l'une des deux catégories ; dans le cas d'une émission indirecte, préciser le type.

	Émission directe	Émission indirecte
Un enfant parle en face de vous.		
Le téléphone qui est dans votre main émet un bruit de notification.		
Un de vos amis, qui est dans la pièce à côté fermée, chante.		
Une voiture passe dans la rue et klaxonne, votre fenêtre est ouverte.		
Un voisin qui vit deux étages au-dessus de vous perce un trou avec une perceuse.		
Un écho vient d'un vallon encaissé.		

2. Quelle est la différence entre l'isolation acoustique et la correction acoustique ?
3. Quels sont les trois types de bruits dont on souhaite minimiser la transmission d'une pièce à l'autre ?

Proposer un exemple de chaque type de bruit.

S'agit-il d'isolation acoustique ou de correction acoustique ?

13 Une bougie sonore...

» Analyser

Une bougie chauffe-plat allumée est placée devant un haut-parleur relié à un GBF (générateur basse fréquence). Le GBF est réglé sur un signal carré de fréquence $f = 1$ Hz.

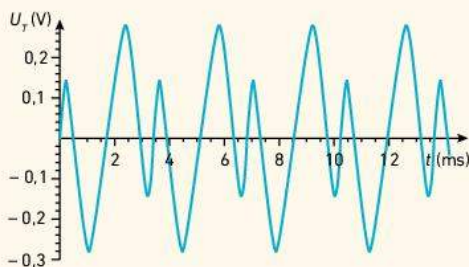
1. Décrire (à l'aide d'un schéma et d'une phrase), demi-période par demi-période, le mouvement de la membrane du haut-parleur par rapport à sa position d'équilibre. En déduire le mouvement de l'air au voisinage de la membrane, puis le mouvement de la flamme de la bougie.
2. Quelle est la direction de propagation de l'onde sonore générée ? En déduire les caractéristiques d'une onde sonore.

14 Dans un orchestre

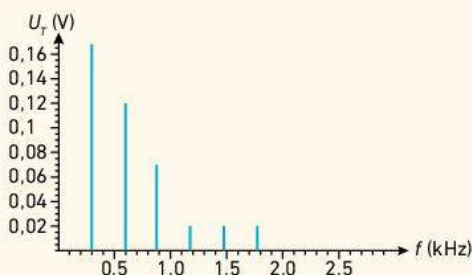


- Le violon est un instrument de musique à cordes frottées à l'aide d'un archet. Il comporte quatre cordes : sol (196 Hz), ré (294 Hz), la (440 Hz) et mi (660 Hz). Les cordes du violon, mises en mouvement par l'archet, transmettent leurs vibrations à l'ensemble du violon qui fait caisse de résonance, ce qui amplifie le son produit et le rend audible. Bien d'autres instruments sont utilisés pour former un orchestre.
 - Un microphone est relié à un système d'acquisition. Différents instruments sont placés devant ce microphone. À l'aide d'un logiciel adapté, on réalise une acquisition des sons émis par ces instruments, puis, pour certains, une analyse spectrale (spectre d'amplitude).
- Un son est caractérisé par trois grandeurs : son intensité, sa hauteur et son timbre.

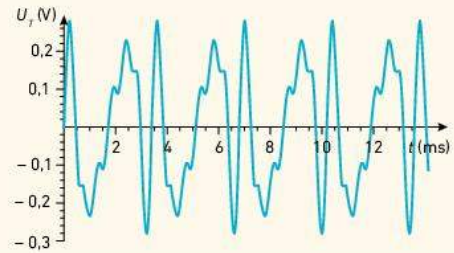
DOC. 1 Enregistrement du son 1.



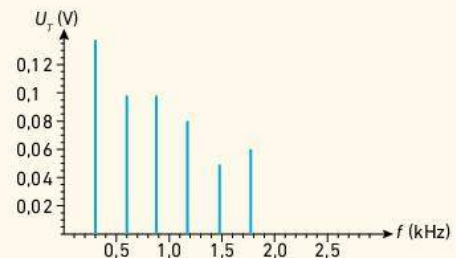
DOC. 2 Spectre d'amplitude du son 1.



DOC. 3 Enregistrement du son 2.



DOC. 4 Spectre d'amplitude du son 2.



1. **» S'approprier** Quelles sont les trois caractéristiques d'un son ? Préciser leur unité si elle existe.
2. **» Réaliser** On a réalisé un enregistrement d'un son émis par l'une des cordes du violon (doc. 1). De quelle note s'agit-il ?
3. **» Réaliser** Le document 2 représente le spectre d'amplitude du son 1 émis par le violon. À l'aide du document 2, retrouver la hauteur du son 1. Est-ce en accord avec la valeur trouvée à la question 2. ?
4. **» Réaliser** Un musicien avec un autre instrument a joué la même note et le son 2 a été enregistré (doc. 3). Un spectre d'amplitude a été obtenu (doc. 4).
 - a. Pourquoi peut-on affirmer que ce musicien ne s'est pas trompé de note ?
 - b. Comment explique-t-on qu'il s'agit de la même note mais que les sons entendus ne sont pas les mêmes ?
5. **» Réaliser** On rappelle que le niveau sonore L dépend de l'intensité sonore I par la relation :

$$L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \text{ avec } I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$$

L'intensité acoustique I d'un son dépend de la puissance P de ce son et de la distance d entre la source et le capteur sonore selon la relation :

$$I = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot d^2}.$$

L'instrument joue une note de niveau sonore $L_1 = 70$ dB devant un sonomètre situé à 5,00 m. Calculer la puissance P de ce son.

Mini-projet d'application

Comment corriger l'acoustique d'une pièce ?



Cahier des charges à suivre

- Mesurer l'influence de la présence ou non de mobilier dans une pièce sur le temps de réverbération.
- Mesurer l'influence de la nature d'un matériau recouvrant une partie d'un mur d'une pièce sur le temps de réverbération.
- Déterminer la valeur optimale du temps de réverbération dans une pièce donnée (une salle de classe ou de concert par exemple).

DOC. 1 La correction acoustique.

Ce qui parvient à l'oreille n'est pas constitué uniquement du son directement émis par la source, mais aussi de tout ce qui s'est réfléchi : du plafond, des murs, du fond de la pièce. C'est cette superposition qui va donner un « effet sonore », mesuré par la durée de réverbération T_r , qui représente la durée (en secondes) nécessaire pour que le niveau sonore d'un son s'affaiblisse de 60 dB. Cette durée n'est pas la même suivant l'utilisation de la pièce. Maîtriser l'acoustique d'une pièce est donc fondamental. Il faut parvenir à contrôler la réflexion sur les parois qui constituent la pièce, on parle de **correction acoustique**. Pour cela il faut moduler la forme de la pièce et choisir les matériaux afin de maîtriser la durée de réverbération T_r sur les murs.

DOC. 2 Le coefficient d'absorption.

La correction acoustique se traduit par la notion d'absorption acoustique : plus un matériau absorbe un son et moins il le réfléchit. On définit le **coefficient d'absorption** α_w (sans unité) dont la valeur est comprise entre 0 (le matériau n'absorbe pas) et 1 (le matériau absorbe tout).

Matériau	Surfaces dures (béton, plâtre)	Bois de 16 mm	Liège sur béton	Moquette fine sur béton	Laine de verre de 28 mm
Coefficient d'absorption α_w	0,05	0,10	0,05	0,20	0,65

Pour une pièce entière (faite de cloisons, d'un plancher, d'un plafond et d'objets avec des surfaces et des coefficients α_w différents), on définit la surface équivalente d'absorption A :

$$A = \sum_i \alpha_{w_i} \cdot S_i = \alpha_{w_1} \cdot S_1 + \alpha_{w_2} \cdot S_2 + \alpha_{w_n} \cdot S_n$$

DOC. 3 Durée de réverbération.

Mesurer directement le coefficient d'absorption d'un matériau est difficile. Une méthode indirecte existe en mesurant la durée de réverbération T_r d'une pièce recouverte d'un même matériau :

$T_r = \frac{V}{A}$ avec V le volume de la pièce (en m^3) et A la surface équivalente d'absorption de la pièce (en m^2).

Vers le grand oral

Quelles doivent être les caractéristiques d'une salle afin qu'elle ait une bonne acoustique ?

S'approprier le projet avant de commencer

- 1 Une pièce a une forme rectangulaire de 4,25 m de long par 3,17 m de large. La hauteur sous plafond est de 2,48 m. Calculer le volume V de cette pièce et la surface totale de la pièce.
- 2 On a mesuré une durée de réverbération $T_r = 1,03$ s pour la pièce, calculer la surface équivalente d'absorption.
- 3 De quel matériau, parmi ceux proposés dans le document 1, est recouvert le plancher (on admettra que les murs et le plafond sont en surfaces dures) ?

Se préparer et réviser les acquis de 1^{re}

Pour l'enseignant

↓ Diaporama des questions flash

Questions flash



CORRIGÉS p. 300-304

Pour chaque question,
trouver la ou les bonnes réponses.

- 1 Les ondes électromagnétiques se déplacent à la vitesse de ...
 - a. la lumière.
 - b. $3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ dans l'air.
 - c. $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ dans l'air.
- 2 Les ondes utilisées en télécommunications ...
 - a. font partie du spectre des ondes électromagnétiques.
 - b. sont audibles par l'oreille humaine.
 - c. peuvent être visibles.
- 3 Les télécommunications utilisent des techniques de ...
 - a. conduction.
 - b. modulation.
 - c. propagations libre ou guidée.
- 4 Une fibre optique ...
 - a. peut être soit en verre soit en plastique.
 - b. permet de transmettre de l'information.
 - c. permet de guider la lumière.
- 5 Si la fréquence d'une onde diminue alors ...
 - a. sa période diminue.
 - b. sa longueur d'onde augmente.
 - c. sa vitesse augmente.

Capacités exigibles

- Relier le domaine de fréquence exploité à la dimension des antennes utilisées. **Activité 1**
- Déterminer l'intervalle de fréquence nécessaire pour transmettre un signal comportant un ensemble d'harmoniques choisis. **Activité 2**
- Mettre en œuvre une transmission d'informations par infrarouge ou onde radio. **Activité 3**
- Mettre en œuvre une transmission par fibre optique. **Activité 4**

14



Les ondes électromagnétiques



Reportage : Qu'est-ce qu'une antenne ?
(9 min 40)



Les ondes électromagnétiques font partie de notre quotidien. Si leur impact sur notre santé fait débat, elles sont indispensables pour nos communications. Connaître leur nature et leurs utilisations nombreuses fait partie des connaissances fondamentales.



Liens avec les maths

- Fonctions périodiques et trigonométriques.
- Exploitation de courbes.

Activités 1 3 4

Activités 2 3 4

Activités

- 1 Comment choisir une antenne ?
- 2 À chaque radio, sa bande de fréquence ?
- 3 Comment fonctionne la modulation ?
- 4 Quel rôle a une fibre optique ?

documentaire

documentaire

expérimentale

expérimentale

1 Comment choisir une antenne ?

ACTIVITÉ 1

Capacité Relier le domaine de fréquence exploité à la dimension des antennes utilisées.

Objectif Comprendre ce qui influence la taille d'une antenne.

Pour son anniversaire, les amis de Léo lui ont offert une voiture télécommandée. Après l'avoir déballée, ils se demandent si la longueur de l'antenne a une importance.

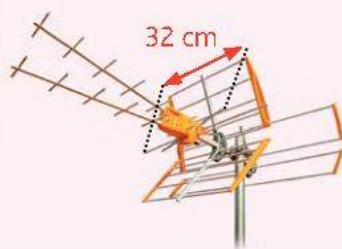


DOC. 1 Quelle antenne pour quelle fréquence ?

Antenne verticale :
150 MHz



Antenne TV TNT de type Yagi :
de 470 MHz à 790 MHz

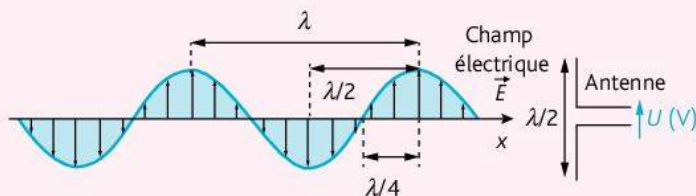


Répéteur WIFI :
double bande : 2,4 GHz et 5 GHz



DOC. 2 Comment une antenne capte une onde ?

Le champ électrique capté par l'antenne métallique fait osciller ses électrons. Une tension apparaît aux bornes de l'antenne de la même fréquence que l'onde captée.



DOC. 3 Caractéristiques d'une onde.

La relation entre longueur d'onde, période et fréquence est donnée par :

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}$$

avec λ longueur d'onde en mètres (m), $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (dans le vide ou dans l'air), T période en secondes (s), f fréquence en hertz (Hz).

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **S'approprier** Comment varie la taille d'une antenne avec la fréquence ?

2 » **Analyser** Quelle est la longueur d'onde λ associée à chacune des fréquences ?

3 » **S'approprier** • **Analyser** Que peut-on remarquer sur la taille des antennes en fonction de λ ? Justifier à l'aide du document sur les antennes quart d'onde.

4 » **Analyser** • **Réaliser** Le satellite européen MétéoSat observe la couverture nuageuse. La fréquence de communication est 1 691 MHz. Quelle longueur L' doit avoir l'antenne quart d'onde ?

Conclusion

Comment évolue la longueur des antennes lorsque diminue la fréquence des ondes ?

2 À chaque radio, sa bande de fréquence ?

ACTIVITÉ

Capacité Déterminer l'intervalle de fréquence nécessaire pour transmettre un signal comportant un ensemble d'harmoniques choisis.

Objectif Comprendre la limitation du nombre de radios dans une gamme de fréquences.

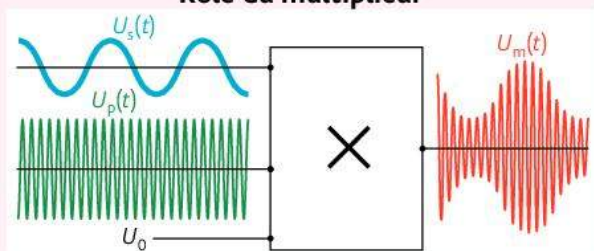
Choisir une radio, écouter en streaming sa série préférée nécessite que les informations soient transmises en étant codées et portées par une onde électromagnétique de haute fréquence. Cette technologie porte le nom de modulation (d'amplitude, de fréquence, etc.).

DOC. 1 Principe de la modulation d'amplitude.

Pour la modulation d'amplitude, avec un montage multiplieur, trois signaux sont nécessaires :

- U_0 : une tension continue ajoutée (couramment appelée **composante continue**).

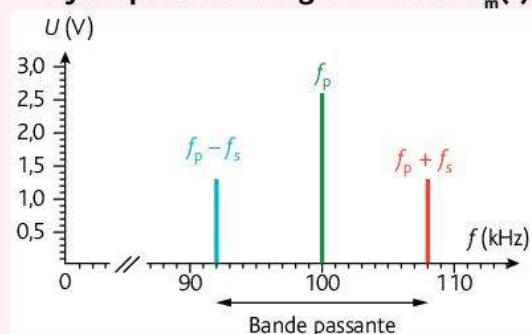
Rôle du multiplieur



À la sortie du montage multiplieur, le signal prêt à être émis est le modulé : $u_m(t)$.

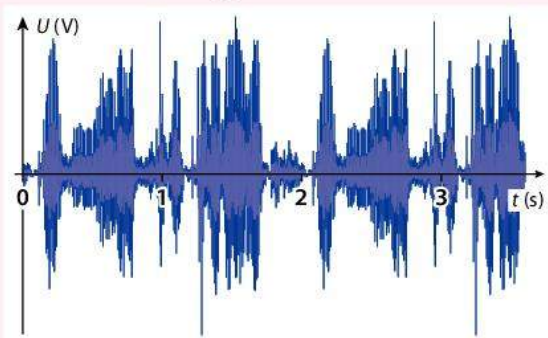
- $u_s(t)$: tension variable représentant le signal à émettre (le **modulant**),
- $u_p(t)$: tension variable représentant un signal haute fréquence (la **porteuse**).

Analyse spectrale du signal modulé $U_m(t)$

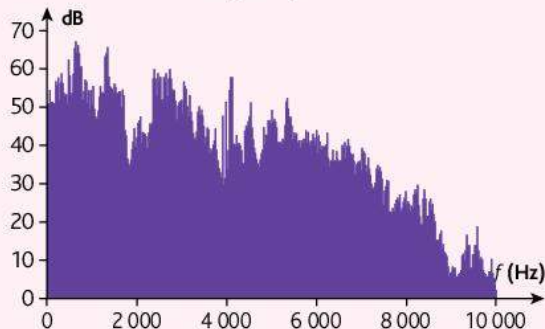


DOC. 2 Enregistrement et spectre d'un extrait de chanson.

Enregistrement



Analyse spectrale



DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

1 » **S'approprier** Comment nomme-t-on le signal qui constitue l'information à transmettre ? À quoi correspond la porteuse ? Le signal modulé ? Pourquoi la modulation d'amplitude porte-t-elle ce nom ?

2 » **S'approprier** • **Analyser** Sur le doc.1, quelles sont les valeurs de la fréquence de la porteuse et du signal modulant ? Quelle est la largeur de la bande passante utilisée ?

3 » **S'approprier** • **Analyser** a. Sur le doc. 2, citer les fréquences extrêmes.
b. Dédire du doc. 1 l'aspect possible de l'analyse spectrale du signal d'une radio de fréquence 210 kHz.

Conclusion

Sachant que l'espacement entre deux radios AM est de 9 kHz, combien peut-on autoriser de radios entre 148,5 kHz et 283,5 kHz ?

3 Comment fonctionne la modulation ?



2 h

Capacité

Mettre en œuvre une transmission d'informations par infrarouge ou onde radio.

Objectif du TP

Mettre en œuvre une technique de modulation.

La communication sans fil a envahi notre environnement. Quoi de plus facile que de se connecter à une enceinte Bluetooth pour écouter de la musique entre amis ? Comment votre radio préférée peut-elle greffer une chanson sur le signal qu'elle émet ?



ÉTAPE 1 Obtention d'un signal modulé

- Visualiser sur l'écran de l'oscilloscope le modulant ($f_s = 6,8 \text{ kHz}$, $U_s = 0,90 \text{ V}$) et la porteuse ($f_p = 176 \text{ kHz}$, $U_p = 3,3 \text{ V}$).
- Procéder à la modulation d'amplitude avec le matériel dont vous disposez. Le signal obtenu est le modulé.
- Visualiser le signal modulé et le signal modulant.
 - Appeler l'enseignant pour vérifier la réponse.
- Expliquer le terme modulation d'amplitude en comparant les aspects du signal modulant et du signal modulé.
- Faire varier la valeur de la composante continue U_0 . Pourquoi cette valeur ne doit pas être trop faible ?

ÉTAPE 2 Transmission par voie hertzienne

- En utilisant deux antennes, visualiser le signal transmis par voie hertzienne.
- Utiliser comme signal modulant une chanson d'un smartphone. Vérifier sur l'oscilloscope la transmission du signal.

ÉTAPE 3 Analyse du signal modulé

- Procéder à l'analyse spectrale du signal modulé (avec le modulant à 6,8 kHz ou l'extrait musical).
- Tracer le graphe du spectre obtenu en notant les grandeurs sur les axes ainsi que la valeur de la fréquence de chaque signal.
- Interpréter le spectre afin de retrouver la porteuse et le modulant.

Conclusion du TP

Quelle caractéristique de la porteuse est modifiée avec ce type de modulation ?

MATÉRIEL

- Un GBF double voies ou 2 GBF simple voie.
- Un oscilloscope numérique ou un ensemble (oscilloscope, système d'acquisition EXAO, circuit multiplicateur et logiciel analyseur de spectre type Regressi).
- Deux antennes (câbles électriques sur fiche banane).
- Un smartphone.
- Un câble jack audio 3,5 mm.
- Un adaptateur jack- double fiches bananes.
- Un système d'amplification et un haut-parleur éventuellement.

Aide

Il existe plusieurs types d'analyse spectrale ainsi que plusieurs représentations possibles. Le but étant d'obtenir des informations précises sur la composition du signal. À vous de choisir celle qui vous paraîtra la plus riche et la plus facile à interpréter.

Quel rôle a une fibre optique ?



1 h

Capacité

Mettre en œuvre une transmission par fibre optique.

Objectif du TP

Déterminer le rôle d'une fibre optique dans une chaîne de transmission de l'in-



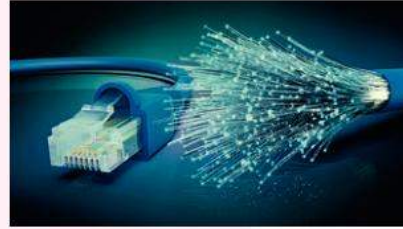
Qu'est-ce que la fibre ?



DOC. 1 La fibre optique.

L'usage de la fibre optique permet une propagation guidée du signal à transmettre. Le signal progresse à la vitesse de la lumière dans le matériau qui constitue le cœur transparent de la fibre.

La gaine de la fibre optique permet d'isoler le signal à transmettre des perturbations extérieures.

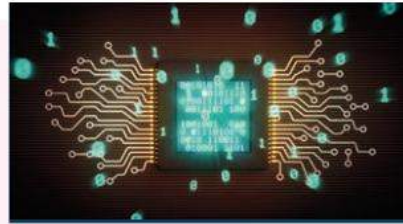


MATÉRIEL

- Un kit didactique de transmission optique.
- Un générateur 6-12V.
- Un Générateur Basse Fréquence.
- Un oscilloscope numérique ou un oscilloscope et un système d'acquisition EXAO.
- Un câble jack audio 3,5 mm.
- Un adaptateur jack- double fiches bananes.
- Un microphone.
- Une télécommande infrarouge.

DOC. 2 La modulation : une nécessité.

Pour des raisons pratiques (propagation, multiplicité des informations, sécurité, etc.), le signal à transmettre est mélangé à un signal haute fréquence appelé « porteuse », puis codé.



ÉTAPE 1 Transmission d'un signal par fibre optique

1. Régler, à l'aide de l'oscilloscope, le GBF afin de générer un signal sinusoïdal de fréquence $f = 250 \text{ Hz}$ et d'amplitude $U_m = 300 \text{ mV}$.
2. Utiliser le matériel disponible pour visualiser sur l'écran de l'oscilloscope différents signaux (signal d'un GBF, d'un smartphone, voix, etc.) transmis par une fibre optique.
3. Expliquer par un schéma et un texte, le parcours du signal depuis son émission jusqu'à sa visualisation sur l'écran de l'oscilloscope ; préciser la nature du signal (sonore, électrique, lumineuse, etc.).

ÉTAPE 2 Étude du signal émis par une télécommande

4. Enregistrer le signal émis par une télécommande infrarouge en visant le récepteur infrarouge ou l'extrémité de la fibre optique.
5. À l'aide de l'enregistrement, calculer la fréquence f_s du signal reçu.
6. Calculer la fréquence f_p de la lumière utilisée ($\lambda_p = 940 \text{ nm}$). En déduire le rôle de la lumière dans cette transmission ?

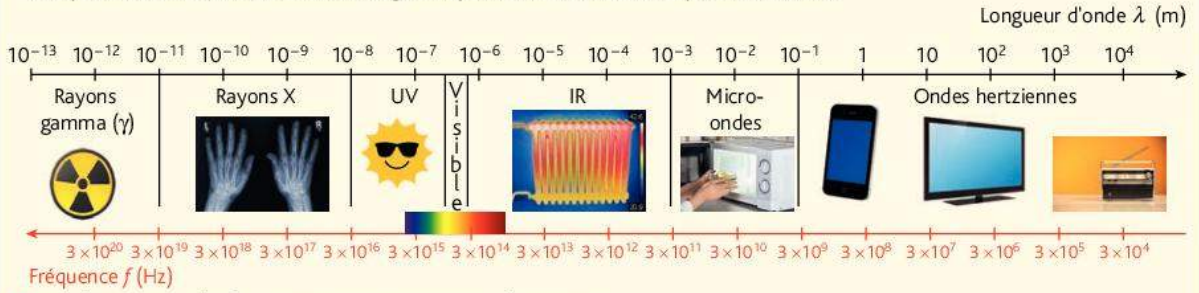
Conclusion du TP

Quel est le rôle de la fibre optique dans une chaîne de transmission de l'information ?

A Ondes électromagnétiques dans les télécommunications

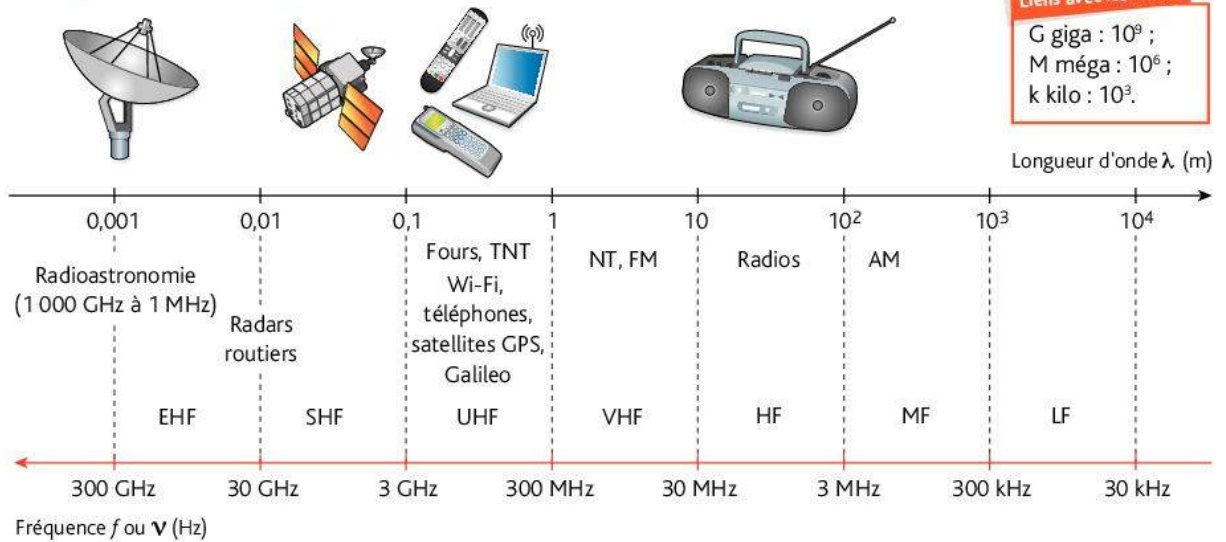
COURS

- Le spectre des ondes électromagnétiques est divisé en sept domaines.



→ Les domaines de fréquences sont très réglementés.

Exemple : Les ondes utilisées en communication



Liens avec les maths

G giga : 10^9 ;
M méga : 10^6 ;
k kilo : 10^3 .

- La **longueur d'onde** se calcule à partir de la fréquence : $\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}$ et $f = \frac{1}{T}$ avec λ longueur d'onde en mètres (m), $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (dans le vide ou dans l'air), T période en secondes (s), f fréquence en hertz (Hz).

Exemple

Télévision numérique terrestre (TNT) 470 MHz à 790 MHz	WiFi et Bluetooth 2,4 GHz
$\lambda_{\min} = \frac{3,0 \times 10^8}{790 \times 10^6} = 0,380 \text{ m} ;$	$\lambda = \frac{3,0 \times 10^8}{2,4 \times 10^9} = 0,13 \text{ m}.$
$\lambda_{\max} = \frac{3,0 \times 10^8}{470 \times 10^6} = 0,638 \text{ m}.$	
Conclusion : $38,0 \text{ cm} \leq \lambda \leq 63,8 \text{ cm}$	

Astuce

La fréquence possède 2 notations usuelles : la lettre latine f et la lettre grecque ν (nu). C'est néanmoins la même grandeur, exprimée en hertz.

Lien vidéo

Qu'est-ce qu'une onde électromagnétique ? (5 min 07)

B Transmission et réception d'un signal

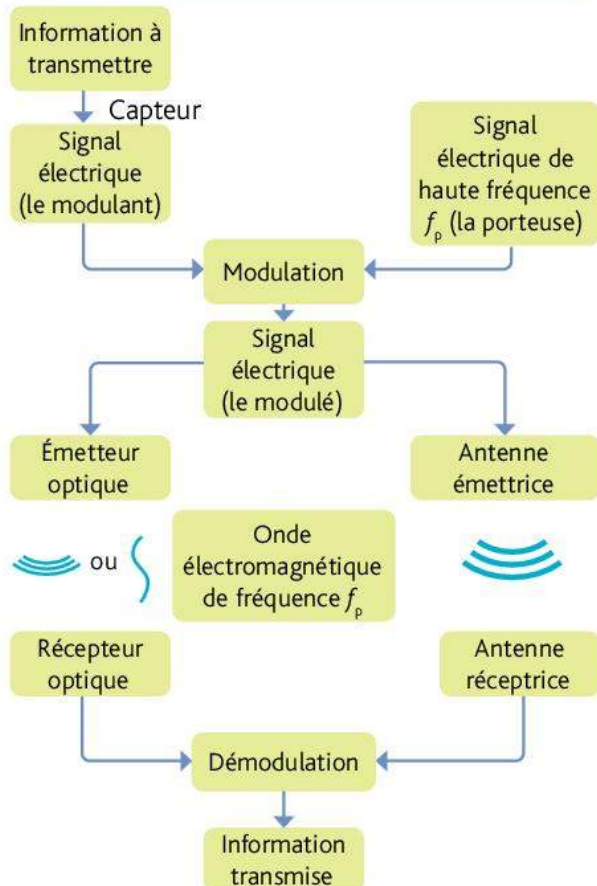
COURS

- Aujourd'hui, les informations font le tour de la planète en quelques secondes. Les informations ont souvent la forme de vidéos, de fichiers audios ou de textos...
- Toutes ces informations doivent être conditionnées et codées pour :
 - s'adresser au **bon destinataire** ;
 - rester **fiables** lors de l'acheminement ;
 - être **disponibles** au bon moment.

- Le signal électrique que l'on veut effectivement transmettre (l'information) est le **modulant**.
- Il va modifier une des caractéristiques d'un autre signal électrique de haute fréquence f_p , la **porteuse**.
- Le signal obtenu est le **modulé**.
- Il est transformé en **onde électromagnétique** de même fréquence f_p que la porteuse au moyen d'un composant optoélectronique (telle une LED IR) ou d'une **antenne émettrice**.
- L'onde est alors soit **guidée** (par fibre optique) soit **émise librement**.
- Cette onde est **captée** par un **composant optoélectronique** ou une **antenne réceptrice**, puis **démodulée**.
- L'information est **transmise**.

INFOS FLASH

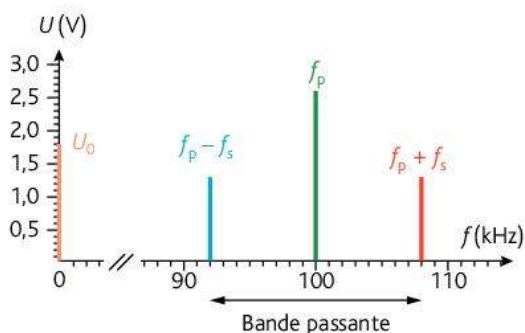
Le record actuel de débit a été établi en 2017 par des Japonais : 10 Pb/s c'est-à-dire 10×10^{15} bits par seconde. Comme si toute l'Europe regardait le même film en simultanée !



C Intervalle de fréquences nécessaire

COURS

- Transmettre un signal complexe nécessite d'utiliser un intervalle de fréquences centré autour de la fréquence de la porteuse.
- L'analyse spectrale du signal émis et reçu (**le modulé**) montre qu'il peut être décomposé sous la forme d'au minimum quatre signaux :
 - le signal de plus grande amplitude : la **porteuse** de fréquence f_p ;
 - deux signaux de moindre amplitude symétriques de fréquence $f_p - f_s$ et $f_p + f_s$ avec f_s la fréquence du signal à transmettre, leur écart constitue la **bande passante**. Plus la fréquence f_s sera élevée et plus la bande passante sera large.
 - un signal de fréquence nulle : la **composante continue** U_0 .



Exemple : La TNT télévision numérique terrestre utilise des fréquences entre 470 MHz et 790 MHz. La bande passante de chaque chaîne est 8 MHz. On peut donc obtenir $\frac{790 - 470}{8} = 40$ chaînes. Ce nombre peut être augmenté en utilisant le multiplexage.

INFOS FLASH

- Un document audio ou vidéo n'est pas constitué d'une seule fréquence, mais d'un ensemble de fréquences.
- Pour que la bande passante tienne dans le canal alloué à un opérateur, il faut parfois « sacrifier » les hautes fréquences du signal modulant. Cela engendre une perte d'informations et donc une dégradation.

Astuce

- La composante continue permet de régler la forme du signal modulé afin de garantir une forme qui permettra la démodulation (extraction du signal qui constitue l'information : le modulant).
- Il existe également d'autres modes de modulation que par amplitude (AM). Par exemple, la modulation de fréquence FM est utilisée pour transmettre les signaux des radios usuelles.



D Dimension d'une antenne réceptrice

- Pour capter une onde électromagnétique de fréquence f , une antenne doit avoir des dimensions définies.
- La longueur optimale de l'antenne est égale à la demi-longueur d'onde de l'onde à capter.
- On parle **d'antenne demi-onde** : $L = \frac{\lambda}{2}$.

Rappel

$c = \lambda \cdot f \Leftrightarrow \lambda = \frac{c}{f}$ avec $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (vitesse de la lumière dans le vide ou l'air).

INFOS FLASH

L'antenne de transmission de Radio Varsovie, faisait environ 650 m de haut. C'était la tour la plus haute au monde. Elle émettait un signal de 227 kHz. Elle s'est effondrée en 1991 suite à une erreur pendant une opération de maintenance.

- Une antenne **quart d'onde** $L = \frac{\lambda}{4}$ fonctionne aussi, mais il faut lui associer une surface réfléchissante (un plan de sol).
- La longueur d'une antenne donne un ordre de grandeur des fréquences captées. Il ne faut pas associer une longueur à une fréquence précise, mais à une gamme de fréquences.

Exemple : La TNT télévision numérique terrestre est captée par des antennes très reconnaissables.

Le dipôle qui capte les ondes est peu visible, la majorité de l'antenne est constituée de réflecteurs et de brins améliorant la réception. Le dipôle a une longueur $L = 32 \text{ cm}$.

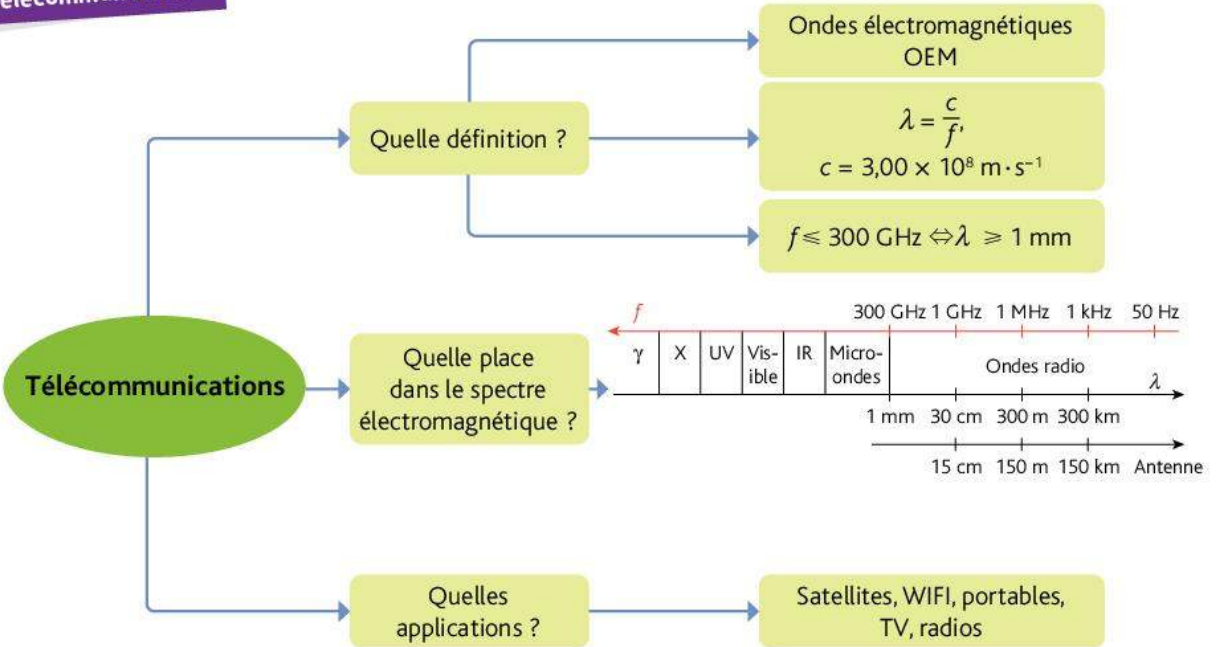
Cela permet de capter des ondes dont la fréquence est voisine de 470 MHz :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00 \times 10^8}{470 \times 10^6} = 0,64 \text{ m} = 64 \text{ cm}.$$



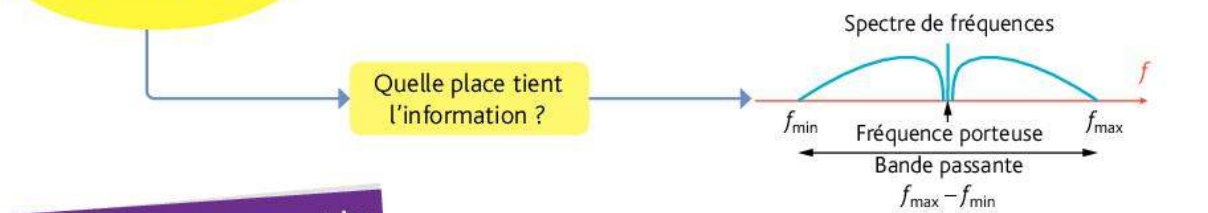
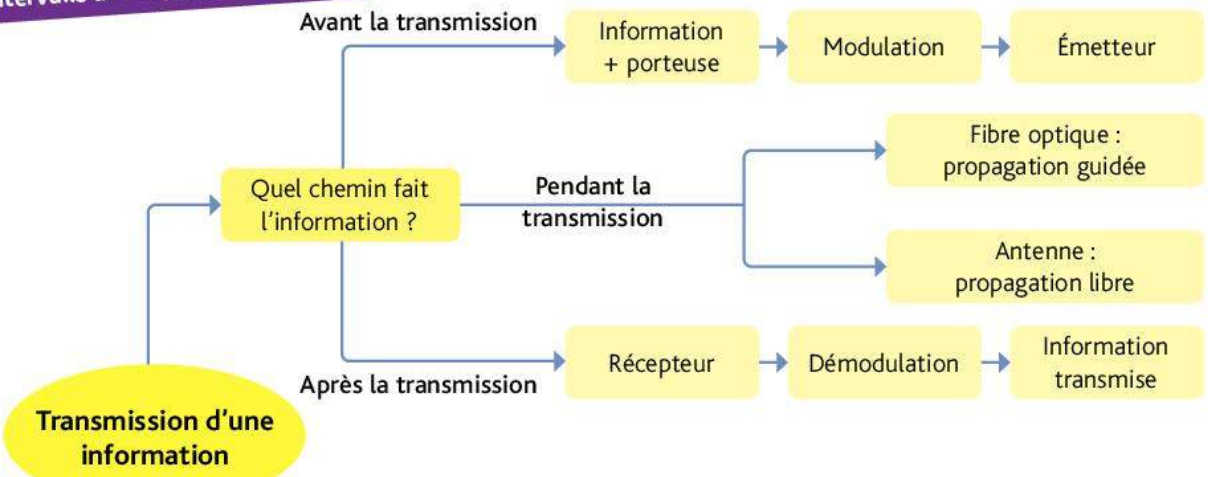
Exemple : Une antenne quart d'onde vendue dans le commerce d'une vingtaine de centimètres de long permet de capter des ondes de fréquences comprises entre 136 MHz et 960 MHz.

A. Télécommunications

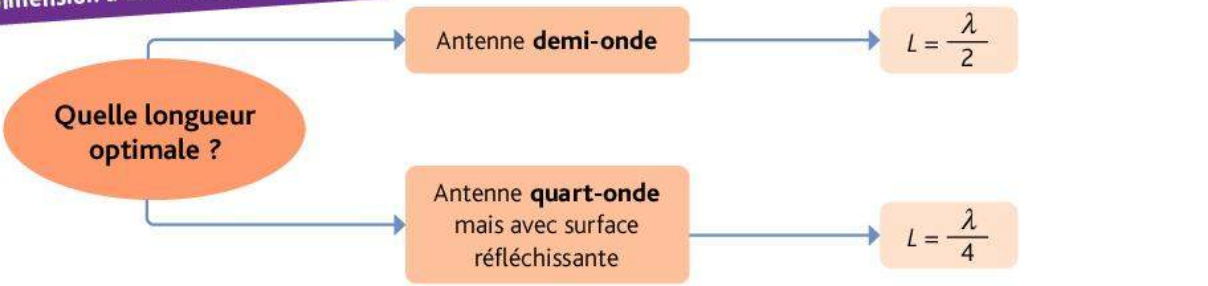


B. Transmission d'une information

C. Intervalle de fréquences nécessaire



D. Dimension d'une antenne réceptrice



Questions flash  Pour chaque question, trouver la ou les bonne(s) réponse(s).



CORRIGÉS p. 300-304

- 1 Les ondes utilisées en télécommunication sont des ondes ...
 - a. électromagnétiques.
 - b. sonores.
 - c. ultrasonores.
- 2 Dans le spectre des ondes électromagnétiques, les ondes de télécommunication ...
 - a. ont une fréquence inférieure à 300 GHz.
 - b. ont des longueurs d'onde très courtes (inférieures à 1 nm).
 - c. se situent entre le visible et les micro-ondes.
- 3 Les techniques utilisées pour transmettre une information en télécommunication ...
 - a. utilisent un transfert de fréquences entre celles à transmettre et celles transmises *via* une antenne.
 - b. ne sont pas les mêmes suivant les pays émetteurs.
 - c. sont appelées, d'une manière générale, la modulation.
- 4 Lors d'une modulation, l'onde émise par l'antenne est ...
 - a. le modulant.
 - b. le modulé.
 - c. la porteuse.
- 5 La bande passante d'une onde transmise ...
 - a. est centrée sur la fréquence de la porteuse.
 - b. est d'autant plus large que le signal modulant est riche en fréquences.
 - c. ne dépend pas du signal modulant.
- 6 Les dimensions d'une antenne dépendent ...
 - a. de la fréquence de la porteuse.
 - b. de la longueur d'onde de la porteuse.
 - c. des caractéristiques du signal modulant.

Vrai ou Faux ? Pour chaque proposition, déterminer si elle est vraie ou fausse.

- 1 Les ondes électromagnétiques peuvent être utilisées pour la télécommunication.
- 2 La télécommunication consiste à communiquer en utilisant des écrans.
- 3 Plus la longueur d'onde est élevée et plus la fréquence de l'onde est faible.
- 4 Plus la longueur d'onde du signal à capter est grande et plus l'antenne doit être grande.
- 5 Le signal modulé résulte de la modulation d'une porteuse par un signal modulant.
- 6 Le nombre limité de canaux autorisés dans une bande de fréquences peut engendrer une dégradation du signal.

A Ondes électromagnétiques dans les télécommunications

1 Enjeu des 700 MHz (les fréquences en or)

» Mobiliser ses connaissances • S'approprier • Réaliser

Entre les années 2016 et mi-2019, la bande des 700 MHz a été soustraite aux fréquences utilisées par la télévision numérique terrestre (TNT). Elle a été affectée aux opérateurs de téléphonie mobile afin de faciliter le déploiement de la 4G.

Dans cette bande des 700 MHz, on parle de « fréquences en or », car leur portée est grande, elles traversent assez bien les bâtiments.

1. Donner les raisons pour lesquelles, la bande des 700 MHz est très utile pour les opérateurs de téléphonie mobile.
2. Calculer la longueur d'onde λ (en cm) correspondant aux 700 MHz.
3. Les satellites ASTRA et EUTELSAT sont chargés de la couverture TNT, ils sont dits géostationnaires, cela signifie qu'ils tournent à 36 000 km de la surface de la Terre. Combien de temps met, au minimum, le signal émis par une chaîne TV pour parvenir à notre téléviseur ? Exprimer cette valeur en millisecondes.

Donnée

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

B Transmission et réception d'un signal

2 Le bon vocabulaire au bon endroit

» Mobiliser ses connaissances

Recopier les phrases suivantes en choisissant le mot qui convient afin que la phrase soit correcte.

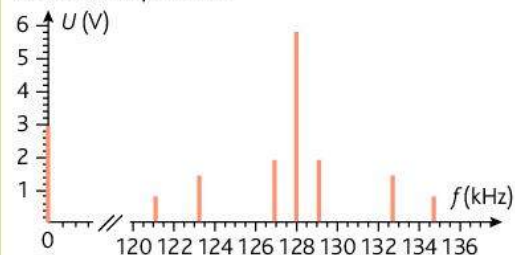
1. Dans le sens de la longueur d'onde croissante/décroissante, le spectre des ondes électromagnétiques est constitué de rayons gammas, rayons X, UV, visible, micro-ondes/IR/ondes radio.
2. Le signal électrique à transmettre (l'information) est le modulant/modulé. Il va modifier une des caractéristiques d'un autre signal électrique de haute fréquence f_p , le modulé/la porteuse.
3. Après modulation, le signal obtenu est le modulé/modulant. Il est transformé en onde électromagnétique/sonore de même fréquence f_p , que la porteuse au moyen d'une antenne émettrice/réceptrice.

C Intervalle de fréquences nécessaire

3 Analyse spectrale d'un signal modulé

» Mobiliser ses connaissances • S'approprier Maths

On a procédé à l'analyse spectrale d'un signal modulé en amplitude.



En vous aidant des documents de l'activité 2 page 261, répondre aux questions suivantes.

1. Quelle est la valeur de la fréquence f_p de la porteuse ?
2. Quelle est la valeur de la fréquence de la composante continue U_0 ?
3. Quelle est la valeur de la bande passante du signal modulé ?
4. Le modulant est composé de trois signaux de fréquence f_1, f_2 et f_3 . Déterminer la valeur de chacune de ces trois fréquences.

D Dimension d'une antenne réceptrice

4 Une antenne de voiture Mesure et incertitudes

» Mobiliser ses connaissances • Réaliser Maths



Les antennes de voiture sont de type quart d'onde, cela signifie que leur longueur L correspond au quart de la longueur d'onde λ des ondes qu'elles peuvent capter. La longueur L de l'antenne de cette voiture est de l'ordre de 30 cm.

1. Calculer la longueur d'onde λ de l'onde captée.
2. En déduire la fréquence f de cette onde. Exprimer la valeur en Hz et en MHz.
3. Calculer l'incertitude $u(f)$ de la fréquence captée avec $u(L) = 1 \text{ cm}$, $u(L) = \frac{u(\lambda)}{4}$ et $\frac{u(f)}{f} = \frac{u(\lambda)}{\lambda}$.

Donnée

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$



5 Recevoir la TNT (Télévision Numérique Terrestre)

L'antenne de réception, de type Yagi (râteau), est constituée d'un dipôle récepteur et d'une association d'éléments améliorant la réception.

Les ondes modulées captées sont comprises entre 470 MHz et 790 MHz.

Le terme demi-onde signifie que la longueur L de l'antenne (le dipôle récepteur) doit être égale à la moitié de la longueur d'onde de l'onde à capter.

Extrait du plan de fréquences de la TNT

Chaîne	France 2	France 5	France 24
Fréquence (MHz)	514	626	722

- Dans quel domaine du spectre électromagnétique appartiennent les ondes émises par la TNT ?
- Calculer les longueurs d'onde associées aux deux fréquences extrêmes 470 et 790 MHz.
- La longueur du dipôle est de 32 cm. Cela vous paraît-il plausible ?
- À l'aide du plan de fréquences, que représentent les fréquences comprises entre 470 MHz et 790 MHz pour un téléspectateur ? Pour un technicien spécialisé dans les télécommunications ?
- D'une manière générale, comment est appelé le procédé qui a permis d'intégrer les informations (vidéo et audio) dans le signal reçu par l'antenne ?



Dipôle récepteur de type demi-onde

Donnée

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

RÉSOLUTION DÉTAILLÉE

1 Les fréquences sont inférieures à 300 GHz, les ondes utilisées par la TNT sont des ondes radio utilisées dans les télécommunications.

2 Par définition : $c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f \Leftrightarrow \lambda = \frac{c}{f}$.

Pour $f = 470 \text{ MHz}$, $\lambda = \frac{3,00 \times 10^8}{470 \times 10^6} = 0,636 \text{ m} = 63,6 \text{ cm}$.

De même pour $f = 790 \text{ MHz}$, $\lambda = \frac{3,00 \times 10^8}{790 \times 10^6} = 0,380 \text{ m} = 38,0 \text{ cm}$.

3 Oui, cela paraît plausible. Il ne peut pas y avoir autant d'antennes que de fréquences. La fréquence de 470 MHz est privilégiée ($\lambda = 64 \text{ cm}$ et $\frac{\lambda}{2} = 32 \text{ cm}$), les autres fréquences sont simplement moins bien captées (il y a des amplificateurs).

4 Pour le téléspectateur, ces fréquences correspondent à des chaînes de télévision. Pour le technicien, ces fréquences correspondent à la porteuse de chaque chaîne.

5 L'énoncé indique qu'il s'agit d'ondes modulées, il s'agit donc du procédé de modulation.

Aide

Pensez à utiliser les chiffres significatifs ! La plupart des données de l'énoncé sont exprimées avec trois chiffres significatifs.

Aide

Le plan de fréquences suggère de faire une analogie entre les fréquences et les chaînes TV.

À vous de jouer

6 Recevoir la radio FM (Modulation de Fréquence)

Répondre aux mêmes questions dans le cas de la radio FM dont les fréquences sont comprises entre 88 MHz et 108 MHz. L'antenne est télescopique et varie entre 10 et 55 cm.

Exercices

Entraînement

7 Le spectre des télécommunications Maths

» Réaliser

Le tableau ci-dessous indique les longueurs d'onde de différents domaines utilisés dans les télécommunications.


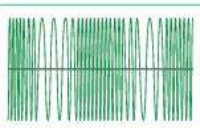
Domaines	TVTNT (bande)	Radars routiers	WIFI (bande)
Longueur d'onde λ	43,2 à 63,8 cm	1,244 cm	12,08 à 12,50 cm
Domaines	5G différents canaux	Satellites GPS et Galileo (2 canaux)	Fours micro-ondes
Longueur d'onde λ	11,5 mm 8,57 cm 20 cm	19,04 cm 24,44 cm	122,4 mm

Positionner sur un axe horizontal représentant les longueurs d'onde les différents domaines proposés.

8 Modulation de fréquence ou d'amplitude?

» Réaliser Application technologique

Dans les télécommunications, des bandes de fréquences sont attribuées pour chaque domaine. Les stations de radio grand public se divisent en deux grandes catégories :

Type de stations de radio	Les grandes ondes	La FM
Domaines de fréquences	$150 \text{ kHz} \leq f \leq 270 \text{ kHz}$	$88 \text{ MHz} \leq f \leq 108 \text{ MHz}$
Bande passante	9 kHz	180 kHz
Aspect du signal modulé		

La bande passante est la largeur du canal alloué à chaque station de radio. Elle est centrée autour de la fréquence officielle de la radio considérée.

Par exemple pour une radio « grandes ondes » de fréquence 200 kHz, la bande passante se situe entre 195,5 kHz et 204,5 kHz.

1. Pour les techniciens de la station de radio, que représente la fréquence d'émission de la station ?
2. Pour chaque type de radio, est-ce la fréquence qui est modulée ou l'amplitude ?
3. Calculer combien de stations de radio peuvent tenir dans chaque domaine de fréquences.
4. L'encombrement d'un domaine de fréquences représente le rapport entre la bande passante et la fréquence la plus faible du domaine considéré.

9 Transmission de données par CPL

Application technologique

» Mobiliser ses connaissances • S'approprier • Réaliser

La transmission de données par CPL (Courants Porteurs en Ligne), est une technologie utilisant les câbles d'un réseau électrique (domestique ou public).

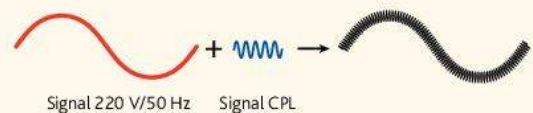
DOC. 1 Le réseau domestique.

La box internet est reliée par un câble Ethernet à un boîtier CPL émetteur branché à une prise électrique.

Le signal se propage dans l'installation électrique. Des boîtiers CPL récepteurs branchés aux prises assurent le filtrage du signal basse fréquence et le décodage du signal CPL. Un câble Ethernet relie le module au PC par exemple.

DOC. 2 La technique employée.

- Le signal CPL vient s'ajouter au signal du réseau électrique traditionnel (220 V/50 Hz).
- Le signal CPL utilise une porteuse de haute fréquence F , mais de faible amplitude, modulée (en amplitude, en fréquence ou en phase) par l'information à transmettre.



DOC. 3 La technique employée.

- Des bandes de fréquences sont allouées aux technologies CPL, notamment :
 - 3 à 148 kHz pour les CPL de bas débit ;
 - 1,6 à 30 MHz pour les CPL de haut débit.
- Les débits sont de l'ordre 500 Mbps (mégabits par seconde).
Un octet = 8 bits.

1. Schématiser une installation domestique correspondant à la situation décrite dans le doc. 1.
2. Quelles sont les caractéristiques (amplitude et fréquence) de la tension du réseau électrique ? En déduire la longueur d'onde (en km) de cette tension.
3. Pourquoi parle-t-on de courant porteur ?
4. Quels sont les trois types de modulation évoqués dans le doc. 2 ?
5. Combien de temps pour télécharger un film de 1,5 Go ? Commenter le résultat.

10 Aidez le radioamateur amateur... Maths

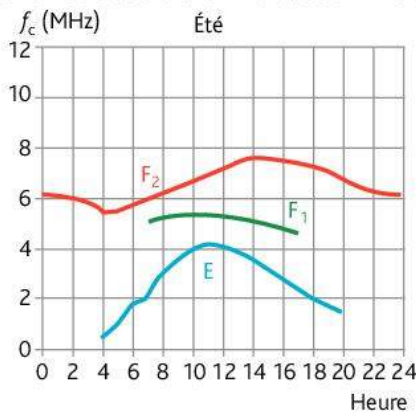
» S'approprier • Analyser

Les ondes électromagnétiques se réfléchissent sur les surfaces métalliques et sur les couches de l'atmosphère (E et F notamment) riches en électrons ; on parle d'ionosphère. Cela permet aux radioamateurs de communiquer entre eux.

Pour cela ils disposent de certaines fréquences autorisées (et donc de longueurs d'onde) par les gouvernements. Ils doivent aussi tenir compte de l'état d'ionisation de l'atmosphère qui fluctue en fonction de la journée notamment.

La couche E se situe entre 90 et 120 km d'altitude.

La couche F se situe entre 120 et 800 km d'altitude.



f_c est la fréquence critique, c'est-à-dire la fréquence maximale de l'onde réfléchiée par la couche ionisée.

Donnée

Vitesse de la lumière dans le vide ou l'air : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Parcours A

Expliquer à un radioamateur néophyte les raisons des deux recommandations suivantes :

- La bande des 160 mètres peut être utilisée de jour comme de nuit (mais avec une forte atténuation).
- La bande des 80 mètres est à privilégier le jour (avec une atténuation faible).

Parcours B

1. Calculer la fréquence f pour chaque longueur d'onde.
2. Réécrire les deux recommandations en fréquence plutôt qu'en longueur d'onde.
3. Estimer la plage horaire pendant laquelle une onde de 3,75 MHz est réfléchiée par la couche E.
4. Expliquer pourquoi une onde qui se réfléchit sur la couche E plutôt que sur la couche F est peu atténuée.

5. Expliquer pourquoi l'usage de la bande des 160 mètres peut être utilisée de jour comme de nuit (mais avec une forte atténuation).

6. Expliquer pourquoi l'usage de la bande des 80 mètres est à privilégier le jour.

11 La propagation guidée par fibre optique

Application technologique

» Mobiliser ses connaissances • Réaliser

Les fibres sont très utilisées dans les télécommunications, car les signaux les traversent à la vitesse de la lumière. En outre, elles permettent des débits importants et ne sont pas sujettes aux interférences. Leur cœur est en verre ou en plastique. Ces matériaux sont caractérisés par leur indice de réfraction, noté n . On s'intéresse à une fibre optique de longueur 5 000 m dont le cœur (en silice) a un indice $n = 1,456$ pour une longueur d'onde de 850 nm.

Données

$n = \frac{c}{v}$ avec v la vitesse de la lumière dans le matériau d'indice n et $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. Calculer la vitesse v de la lumière dans le cœur de la fibre.
2. Calculer en combien de temps, en microsecondes, le signal met pour parcourir les 5 000 m.
3. La fibre optique sert, par exemple, à transmettre de la musique dont la fréquence est comprise entre 20 Hz et 10 kHz.

Il est admis qu'il faut qu'en modulation, la fréquence de la porteuse soit au moins dix fois supérieure à celle du signal modulant (l'information à transmettre). Vérifier que c'est bien le cas dans cette situation.

12 Le NVIS (Near Vertical Incidence Skywave)

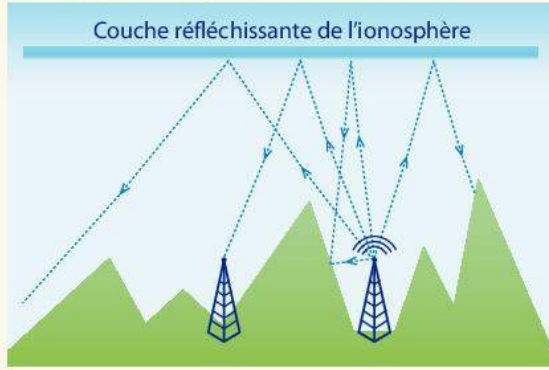
Application technologique

» S'approprier • Analyser • Réaliser

Le système NVIS est utilisé pour établir un réseau radio dans la bande 1,6 à 12 MHz à l'intérieur d'une zone circulaire inférieure à 300 km autour de l'antenne émettrice. Ce système possède de nombreux avantages tels que :

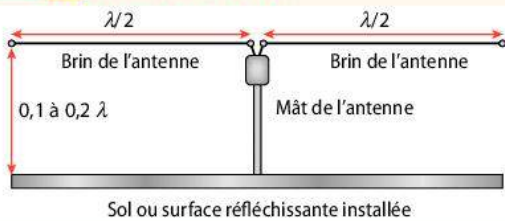
- l'onde arrive du ciel quel que soit le relief, le NVIS peut être utilisé depuis le fond d'une vallée ;
 - sur la même fréquence, plusieurs réseaux radio suffisamment espacés ne se brouillent pas ;
 - l'antenne réceptrice est facile à mettre en œuvre.
- Le principe est de rayonner le maximum d'énergie verticalement, à une certaine fréquence afin d'obtenir une réflexion maximale sur certaines couches de l'ionosphère et ainsi se diriger vers la zone à couvrir.

DOC. 1 Atmosphère réfléchissante.



Une fréquence souvent utilisée est 5,3 MHz.

DOC. 2 L'antenne NVIS.



Une antenne NVIS de station fixe doit être érigée à quelques mètres au-dessus d'un sol aménagé ou non.

1. Comment peuvent communiquer deux radioamateurs séparés par une montagne ?
2. Pourquoi l'usage de deux systèmes NVIS identiques n'est pas indiqué pour des émetteurs trop proches ? Que doit-on faire pour éviter cela ?
3. Donner un encadrement des longueurs d'onde autorisées pour pratiquer le NVIS.
4. Calculer la longueur de l'antenne à utiliser ainsi que la hauteur moyenne à laquelle il faut la placer par rapport au sol.
5. En admettant que l'onde fasse un aller-retour vertical et qu'elle soit reflétée sur une couche de l'ionosphère située à une altitude de 120 km, calculer la durée (en micro-secondes) que mettra l'onde pour ce parcours.

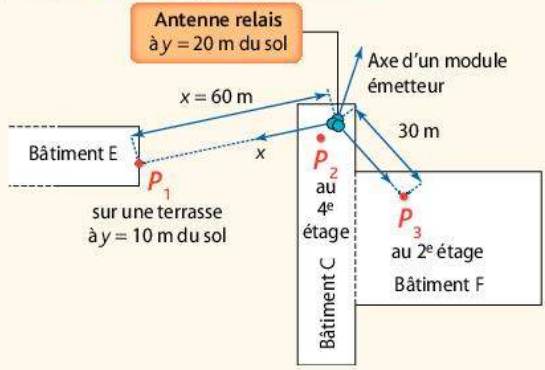
13 Devenir de l'antenne-relais installée sur un bâtiment du lycée

» S'approprier • Analyser • Réaliser

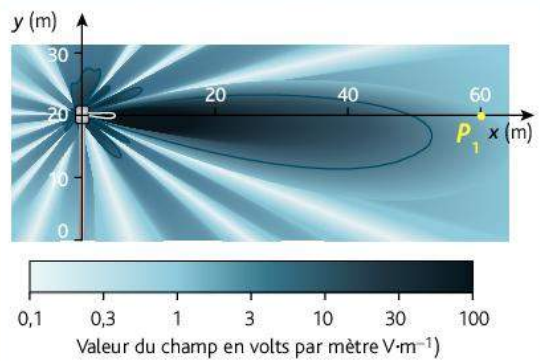
Sur le toit d'un lycée se trouve une antenne relais de téléphonie mobile constituée de trois modules émetteurs. Afin de garantir la santé des occupants, un organisme accrédité pour le contrôle a effectué des mesures de champ électromagnétique, aux emplacements P_1 , P_2 et P_3 .

La bande de fréquence analysée est : 100 kHz – 3,00 GHz.

DOC. 1 Cartographie du site.



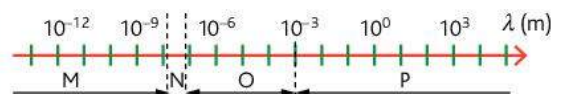
DOC. 2 Rayonnement d'un module de l'antenne relais.



DOC. 3 Relevé de mesures.

	Niveau de champ mesuré
Au point P_1	$3,00 V \cdot m^{-1}$
Au point P_2	$0,30 V \cdot m^{-1}$
Au point P_3	$0,10 V \cdot m^{-1}$

1. Sur l'échelle des longueurs d'onde donnée ci-dessous, dans quel domaine (M, N, O ou P) peut-on situer les ondes analysées ?

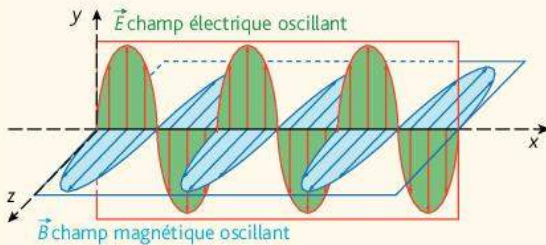


2. Les trois modules de l'antenne relais, orientés à 120° les uns des autres, émettent dans les directions indiquées par des flèches sur le doc. 1. Le doc. 2. indique comment chaque module rayonne.
 - a. À partir des doc. 1 et doc. 2, déterminer la valeur approximative du champ au point P_1 . On supposera que le rayonnement reçu en P_1 provient d'un seul module émetteur.
 - b. Ce résultat est-il en accord avec la mesure donnée dans le doc. 3 ?

14 Système GPS

La géolocalisation est aujourd'hui indispensable, elle est basée sur des satellites en orbite autour de la Terre. Nos objets connectés utilisent en temps réel les informations qu'ils nous envoient.

DOC. 1 Structure d'une onde électromagnétique.



DOC. 2 Description du système GPS.

Le système GPS est constitué d'une constellation de 32 satellites transmettant des signaux radios aux utilisateurs.

- La configuration des trajectoires des satellites (à une altitude de 20 200 km) permet de capter les signaux d'au moins quatre satellites partout sur la planète.
- Les satellites sont équipés d'une horloge atomique et émettent en permanence sur deux fréquences L_1 ($f_1 = 1\,575,42$ MHz) et L_2 ($f_2 = 1\,227,60$ MHz) modulées par des codes et par un message de navigation qui permettent le calcul de notre position.
- Parmi les codes « portés » par la fréquence L_1 (la porteuse L_1) on retrouve le code C/A entièrement ouvert aux civils et le code P soumis à autorisation du gouvernement américain.

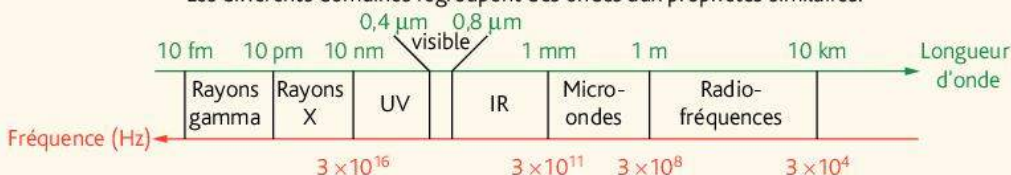
Le Cahier des Techniques de l'INRA, N° spécial Géolocalisation.

Données

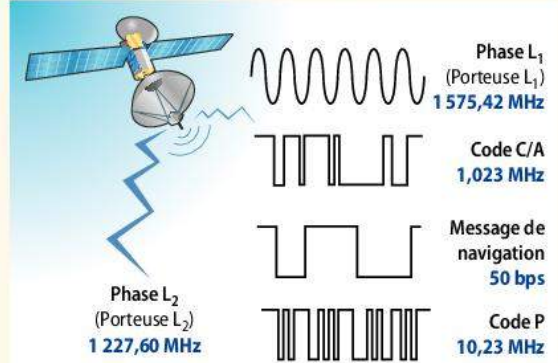
- $L = \frac{\lambda}{2}$ pour une antenne demi-onde.
- $c = 3,00 \times 10^8$ m · s⁻¹.

DOC. 4 Spectre électromagnétique

Les différents domaines regroupent des ondes aux propriétés similaires.



DOC. 3 Description du GPS.



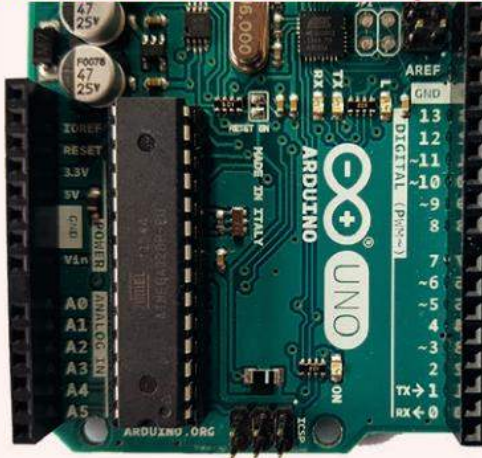
» S'approprier • Analyser • Réaliser

1. Les ondes électromagnétiques sont-elles transversales ou longitudinales ? Selon quel axe se propage l'onde électromagnétique qui figure sur le doc. 1 ?
2. Dans quel domaine du spectre électromagnétique (doc. 4) se situent les ondes émises par les satellites du système G.P.S d'après le doc. 2 ?
3. **Étude du doc. 3**
 - a. Quelles sont les fréquences des deux signaux (appelés porteuses) émis par chaque satellite ?
 - b. Nommer et préciser la fréquence des deux codes qui modulent chaque porteuse.
 - c. Combien de fois la période de la porteuse L_1 peut-elle s'inscrire dans une séquence de codage C/A ?
4. Pour bien capter une onde, l'antenne doit avoir certaines caractéristiques adéquates, notamment sa longueur.

Déterminer la longueur L de l'antenne demi-onde à utiliser pour capter le signal de porteuse L_1 .

Mini-projet d'application

Comment actionner une lampe à l'aide d'une liaison Bluetooth ?



Cahier des charges à suivre

- ➔ Réaliser une liaison Bluetooth à l'aide d'un Arduino. [Fiche méthode 14](#), p. 292.
- ➔ Réaliser une séquence de codage de type morse afin de faire clignoter une DEL.



Bluetooth :
comment ça marche ?
(1 min 59)



DOC. 1 La technologie Bluetooth.

Le Bluetooth est un système de communication sans fil. Il permet de relier entre eux, en les associant, les smartphones, les enceintes, les casques, etc.

Il utilise des ondes électromagnétiques de fréquences 2,4 GHz. Ces ondes ne sont pas directionnelles ce qui facilite les connexions. Le Bluetooth est de faible portée (en moyenne quelques dizaines de mètres) et de faible débit (jusqu'à 2 Mbit/s). Il consomme peu d'énergie et est très bon marché.

DOC. 2 Trois classes de modules Bluetooth.

➔ Il existe trois classes de modules radiofréquence Bluetooth sur le marché actuellement.

Classe	Puissance (en mW et en dBm)	Portée
1	100 mW (20 dBm)	100 m
2	2,5 mW (4 dBm)	10 à 20 m
3	1 mW (0 dBm)	Quelques mètres

La plupart des fabricants d'appareils électroniques utilise des modules de classe 2.

➔ Relation de conversion entre la puissance P (en mW) et la puissance P' (en dBm, décibel-milliwatt).

$$P_{(mW)} = 10^{\frac{P'_{(dBm)}}{10}} \text{ et } P'_{(dBm)} = 10 \log P_{(mW)}$$

DOC. 3 Le module bluetooth HC-06.

Ce module (de classe 2) possède quatre broches à connecter à l'Arduino.

VCC broche à connecter à la broche +5 V ou +3,3 V.

GND broche à connecter à la masse : GND.

RXD broche de réception à connecter à la broche de transmission **TX→1**

TXD broche de transmission à connecter à la broche de réception **0→RX**.

Ce module fonctionne en esclave : il ne peut pas se connecter à d'autres appareils tout seul. Il faut passer par un PC, un smartphone.



S'approprier le projet avant de commencer

- 1 Calculer la durée de transfert d'une vidéo de 1 Go avec un système Bluetooth.
- 2 Retrouver la valeur de 20 dBm à partir de la puissance de 100 mW.
- 3 Quel montage peut ramener la tension 5 V délivrée par la carte à 3,3 V pour protéger la broche RXD ?

Vers le grand oral

Les communications sans fil vous intéressent? Pourquoi ne pas s'informer sur le WIFI, le Bluetooth...?

Deux questions possibles :

Sur quels principes fonctionnent les télécommunications sans fil?

Quels sont les différents types de télécommunications sans fil utilisés dans notre entourage?



La quantité de matière d'une espèce chimique, notée n et exprimée en mol, ne peut pas être mesurée directement.

Pour pouvoir la calculer, on utilise la mesure d'autres grandeurs, comme la masse m (en g), le volume V (L) ou la concentration molaire C (en mol·L⁻¹).

1 Calcul de la quantité de matière à partir de la masse

» Lorsque l'échantillon est solide, on mesure sa masse m (en g) à l'aide d'une balance. La quantité de matière de l'espèce chimique contenue dans cet échantillon est donnée par : $n = \frac{m}{M}$ où M est la masse molaire en g·mol⁻¹.



Exemple : la quantité de matière contenue dans un échantillon de 15,5 g de fer est :

$$n = \frac{m}{M(\text{Fe})} = \frac{15,5}{55,8} = 0,28 \text{ mol.}$$

2 Calcul de la quantité de matière à partir du volume

» Lorsque l'échantillon est un liquide, on mesure son volume V (en mL) à l'aide d'une éprouvette graduée. Connaissant sa masse volumique $\rho = \frac{m}{V}$, la quantité de matière de l'espèce chimique contenue dans cet échantillon est donnée par : $n = \frac{\rho \cdot V}{M}$



où M est la masse molaire en g·mol⁻¹, V le volume en mL et ρ la masse volumique en g·mL⁻¹.

Exemple : la quantité de matière contenue dans un échantillon de 25 mL d'éthanol C₂H₆O ($\rho = 0,789 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$) est :

$$n = \frac{m}{M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})} = \frac{\rho \cdot V}{M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})} = \frac{0,789 \times 25}{(2 \times 12) + (6 \times 1) + (1 \times 16)} = 0,43 \text{ mol.}$$

» Lorsque l'échantillon est un gaz, on mesure son volume V , la quantité de matière est donnée par : $n = \frac{V}{V_m}$ où V_m est le volume molaire ($V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ à 20 °C et 1 013 hPa).

Exemple : la quantité de matière contenue dans un échantillon de 100 mL de dioxyde de carbone est :

$$n = \frac{V}{V_m} = \frac{0,100}{24,0} = 4,17 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

3 Calcul de la quantité de matière à partir de la concentration molaire

» Lorsque l'espèce chimique est dissoute en solution et que l'on connaît sa concentration molaire C (en mol·L⁻¹), la quantité de matière de l'espèce chimique contenue dans un volume V est donnée par :

$$n = C \cdot V.$$

Exemple : la quantité de matière en sulfate de cuivre contenue dans 100 mL de solution de concentration molaire $C = 2,5 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ est :

$$n = C \cdot V = 2,5 \times 10^{-2} \times 0,100 = 2,5 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$



Méthode 2 Préparer une solution par dissolution

1 Étape 1

Poser la coupelle sur la balance, puis après avoir fait la tare, peser une masse m de soluté.

2 Étape 2

- Introduire le soluté dans une fiole jaugée à l'aide d'un entonnoir.
- Rincer la coupelle avec de l'eau distillée afin d'entraîner tout le solide dans la fiole jaugée.



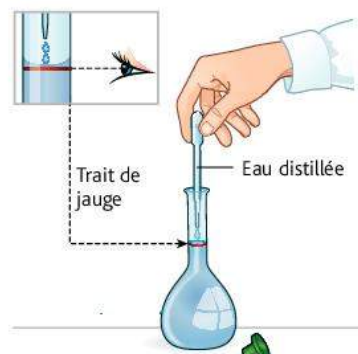
3 Étape 3

- Remplir la fiole jaugée à moitié et la boucher.
- Agiter jusqu'à dissolution complète du soluté.



4 Étape 4

- Ajouter de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (les dernières gouttes sont introduites à l'aide d'un compte goutte).
- Boucher et agiter pour homogénéiser le mélange.



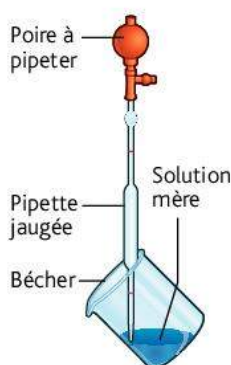


On souhaite préparer un volume $V_{\text{fil}}e$ de solution fille de concentration molaire $C_{\text{fil}}e$ à partir d'une solution mère de concentration molaire $C_{\text{mère}}$.

Le volume $V_{\text{mère}}$ de solution mère à prélever est donné par $V_{\text{mère}} = \frac{C_{\text{fil}}e \cdot V_{\text{fil}}e}{C_{\text{mère}}}$.

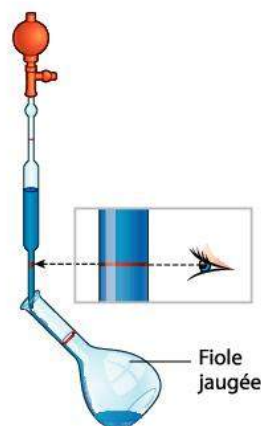
1 Étape 1

- Verser un peu de la solution mère dans un bécher.
- Fixer la poire à pipeter (ou propipette) sur la pipette jaugée et prélever le volume souhaité.



2 Étape 2

- Introduire la solution ainsi prélevée dans la fiole jaugée de volume souhaité (s'arrêter, le cas échéant, au deuxième trait de jauge pour une pipette jaugée à 2 traits).



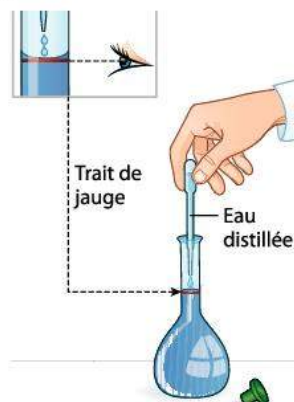
3 Étape 3

- Remplir la fiole jaugée à moitié avec de l'eau distillée et la boucher.
- Agiter pour homogénéiser.



4 Étape 4

- Ajouter de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (les dernières gouttes sont introduites à l'aide d'un compte goutte).
- Boucher et agiter pour homogénéiser le mélange.





1 Les sous-multiples du mètre

- En général, les tableaux de conversion donnés en cours expriment les sous-multiples en fonction de l'unité de base, le **mètre**.

$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$	$1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$	$1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$	$1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$	$1 \text{ dm} = 10^{-1} \text{ m}$
------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

- Pour faciliter les conversions, il est possible d'ajouter une ligne supplémentaire à ce tableau avec pour objectif d'exprimer l'unité de base, le mètre, en fonction de ses sous-multiples.

$1 \text{ m} = 10^9 \text{ nm}$	$1 \text{ m} = 10^6 \mu\text{m}$	$1 \text{ m} = 10^3 \text{ mm}$	$1 \text{ m} = 10^2 \text{ cm}$	$1 \text{ m} = 10^1 \text{ dm}$
---------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

Exemple : un cheveu a un diamètre de $3,5 \times 10^{-5} \text{ m}$. Exprimer ce diamètre en μm .

Unité de base	Unité souhaitée
1 m	$10^6 \mu\text{m}$

On a donc : $3,5 \times 10^{-5} \text{ m} = 3,5 \times 10^{-5} \times 10^6 \mu\text{m} = 3,5 \times 10^1 \mu\text{m} = 35 \mu\text{m}$.

- La même méthode peut permettre de passer d'un sous-multiple à un autre en exprimant l'unité de départ dans l'unité souhaitée.

Exemple : la longueur d'onde d'un LASER NdYAG vaut 1 064 nm. Exprimer cette longueur d'onde en μm .

Unité de base	Unité souhaitée
1 nm	$10^{-3} \mu\text{m}$

On a donc : $1\,064 \text{ nm} = 1\,064 \times 10^{-3} \mu\text{m} = 1,064 \mu\text{m}$.

2 Généralisation

- La méthode vue en 1 peut être étendue à toutes les unités rencontrées en **physique et en chimie**.

Exemples

- Des éoliennes produisent une énergie de $1,6 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ par an. Exprimer cette énergie en $\text{MW} \cdot \text{h}$.

Rappel : $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 10^3 \text{ W} \cdot \text{h}$; $1 \text{ MW} \cdot \text{h} = 10^6 \text{ W} \cdot \text{h}$.

Unité de base	Unité souhaitée
1 kW·h	$10^{-3} \text{ MW} \cdot \text{h}$

On a donc : $1,6 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1,6 \times 10^4 \times 10^{-3} \text{ MW} \cdot \text{h} = 1,6 \times 10^1 \text{ MW} \cdot \text{h} = 16 \text{ MW} \cdot \text{h}$.

- La combustion d'une masse $m = 2,0 \text{ g}$ d'acide stéarique contenu dans une bougie libère une énergie thermique $E_{\text{th}} = 8,0 \times 10^4 \text{ J}$. Déterminer le pouvoir calorifique PC de l'acide stéarique, en $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, défini comme le rapport de l'énergie thermique E_{th} libéré lors de la combustion sur la masse m d'acide stéarique consommée.

Rappel : $1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g}$; $1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J}$.

Unité de base	Unité souhaitée
1 g	10^{-3} kg
1 J	10^{-6} MJ

On a donc : $\text{PC} = \frac{E_{\text{th}}}{m} = \frac{8,0 \times 10^4 \text{ J}}{2,0 \text{ g}} = \frac{8,0 \times 10^4 \times 10^{-6} \text{ MJ}}{2,0 \times 10^{-3} \text{ kg}} = \frac{8,0 \times 10^{-2} \text{ MJ}}{2,0 \times 10^{-3} \text{ kg}} = 40 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

1 Unités

La valeur d'une grandeur physique s'exprime avec une unité. Le système international (SI) regroupe **sept unités de base**. Dans ce système, les autres unités sont définies à partir de ces 7 unités de base.



Exemple : le newton

- Une force s'exprime, dans le système international, en newtons (N). Cette unité est définie à partir du kilogramme (kg), du mètre (m) et de la seconde (s).
- En effet, la deuxième loi de Newton s'écrit $F = m \cdot a$ où m représente la masse et a l'accélération.
Dans cette relation, m s'exprime en kilogrammes (kg) et a en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.
On peut donc écrire $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

2 Vérifier l'homogénéité d'une relation mathématique

Une relation mathématique ne peut être correcte que si les membres situés de part et d'autre de l'égalité s'expriment **dans la même unité**.

Exemple : énergie transportée par un photon

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

- Dans cette relation l'énergie E s'exprime en joules (J) la constante de Planck h s'exprime en joules secondes (J·s), la célérité c de la lumière en mètres par seconde ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) et la longueur d'onde λ en mètres (m).
- Pour vérifier l'homogénéité de cette relation, on remplace chaque grandeur physique ou constante par son unité dans le système international :

$$\text{J} = \frac{\text{J} \cdot \text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}{\text{m}} \quad \text{soit} \quad \text{J} = \frac{\text{J} \cdot \text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}{\text{m}}$$

3 Retrouver l'unité d'une grandeur physique

L'analyse dimensionnelle permet également de **trouver l'unité d'une grandeur physique** dans une relation mathématique.

Exemple : résistance thermique

- On définit le flux thermique Φ à l'aide de la relation suivante où R_{th} représente la résistance thermique.

$$\Phi = \frac{(\theta_c - \theta_f)}{R_{\text{th}}}$$

soit

$$R_{\text{th}} = \frac{(\theta_c - \theta_f)}{\Phi}$$

- Pour retrouver l'unité de la résistance thermique, il faut :
 1. Exprimer la résistance thermique R_{th} en fonction des autres grandeurs physiques.
 2. Connaissant l'unité du flux thermique (W) et celle d'une variation de température (K), on en déduit l'unité de la résistance thermique ($\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)



- S'il est demandé, dans une question, **d'exprimer** la relation entre telle ou telle grandeur, c'est qu'il s'agit de rédiger une réponse ne comportant que les **symboles** des grandeurs physiques utilisées.

Exemple :

$U = R \cdot I$ est une expression littérale établissant le lien entre la tension U , la résistance R et l'intensité I .

- Lorsque l'expression littérale comporte plusieurs grandeurs et qu'on cherche à en exprimer une en particulier en fonction de toutes les autres, il faut manipuler cette expression littérale de façon à **isoler** la grandeur recherchée.

Exemple 1 : cas simple

Le poids P vaut $P = m \cdot g$. On cherche à exprimer la masse m en fonction des autres grandeurs.

→ On veut **isoler** le terme m et donc supprimer le terme g à gauche de l'égalité.

On va donc diviser chaque membre de l'égalité par g :

$$\frac{P}{g} = \frac{m \cdot g}{g}$$

→ En simplifiant par g : $\frac{P}{g} = \frac{m \cdot g}{g}$, on obtient : $m = \frac{P}{g}$.

Exemple 2 : cas plus compliqué

La force de frottement fluide f vaut $f = k \cdot v^2$. On cherche à exprimer la vitesse v en fonction des autres grandeurs.

→ On va d'abord **isoler** le terme v^2 et donc diviser chaque membre par le terme k :

$$\frac{f}{k} = \frac{k \cdot v^2}{k}, \text{ on obtient } v^2 = \frac{f}{k}$$

→ Pour exprimer v , il suffit de prendre la racine carré : $v = \sqrt{\frac{f}{k}}$.

Remarque

Il y a 2 solutions mathématiques $v = +\sqrt{\frac{f}{k}}$ et $v = -\sqrt{\frac{f}{k}}$ mais la solution négative n'a pas de sens physique, la valeur d'une vitesse étant positive.

Exemple 3 : cas compliqué

On cherche la température T_f dans l'expression $Q_1 = Q_2 + m \cdot c \cdot (T_f - T_i)$.

→ On va chercher à **isoler** d'abord le terme $m \cdot c \cdot (T_f - T_i)$:

$$Q_1 - Q_2 = Q_2 + m \cdot c \cdot (T_f - T_i) - Q_2 = m \cdot c \cdot (T_f - T_i)$$

→ On isole le terme $(T_f - T_i)$ par la même méthode que dans l'exemple 1 : $\frac{Q_1 - Q_2}{m \cdot c} = T_f - T_i$.

→ La température finale est obtenue en isolant T_f : $\frac{Q_1 - Q_2}{m \cdot c} + T_i = T_f - T_i + T_i$.

On obtient alors : $\frac{Q_1 - Q_2}{m \cdot c} + T_i = T_f$.



1 Fonctions trigonométriques (chapitres 3, 6 et 7)

» Mesure des angles

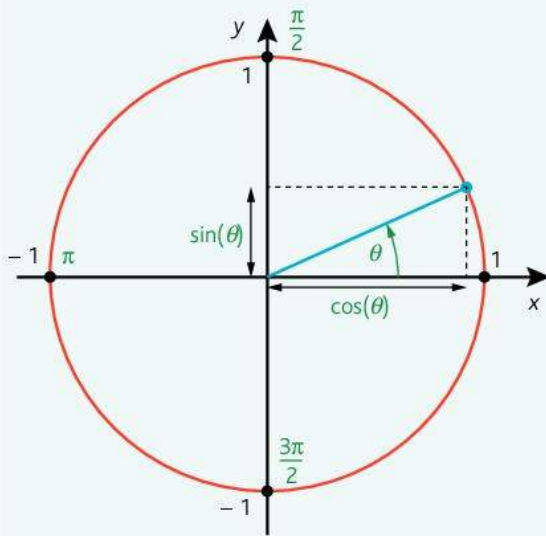
- Un **angle** s'exprime en rad de 0 à 2π ou en ° de 0 à 360°.

Attention

Avant tout calcul d'angle, le mode de calcul d'une calculatrice (degré ou radian) doit être vérifié.

- Pour retrouver les valeurs des cosinus et sinus d'un angle, utiliser le **cercle trigonométrique** sur un morceau de brouillon. La valeur de $\cos(\theta)$ se lit sur l'axe des abscisses et celle de $\sin(\theta)$ sur l'axe des ordonnées.

DOC. 1 Cercle trigonométrique.

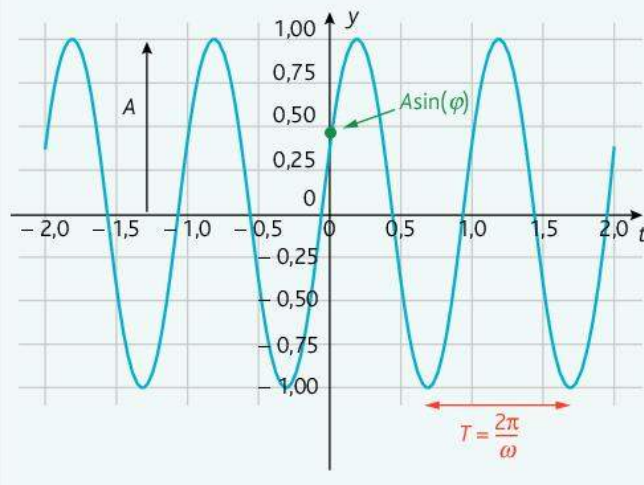


Valeurs à retenir

- $\cos(0) = 1$
- $\cos\left(\frac{\pi}{4}\right) = \frac{\sqrt{2}}{2}$
- $\cos\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0$
- $\cos(\pi) = -1$
- $\sin(0) = 0$
- $\sin\left(\frac{\pi}{4}\right) = \frac{\sqrt{2}}{2}$
- $\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1$
- $\sin(\pi) = 0$

» Représentation des fonctions

DOC. 2 Représentation de $f: t \mapsto A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$ avec $A = 1$, $\omega = 2\pi$, soit $T = 1$ s et $\varphi = \frac{\pi}{8}$.



- Considérons la fonction f :

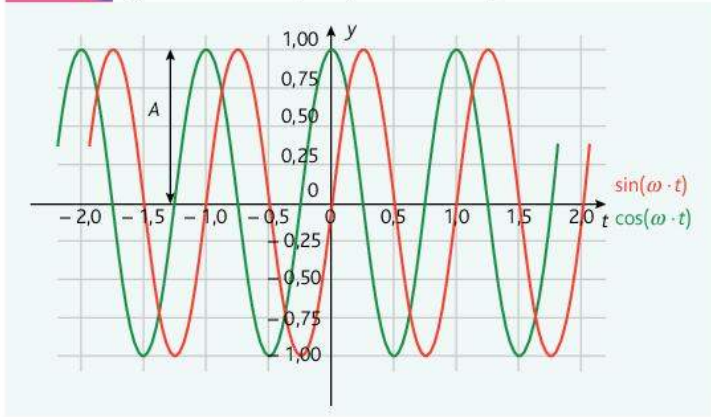
$$f \mapsto A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi).$$

Dans cette fonction,

- A représente l'amplitude de la fonction par rapport à l'axe des abscisses ;
- ω est la pulsation reliée à la période T par : $\omega = \frac{2\pi}{T}$;
- φ est la phase à l'origine et correspond à un décalage temporel selon l'axe des abscisses.

- Les fonctions $f \mapsto A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$ et $g \mapsto A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi)$ sont déduites l'une de l'autre par un décalage d'un quart de période. En effet $\cos(\omega \cdot t) = \sin\left(\omega \cdot t - \frac{\pi}{2}\right)$.

DOC. 3 Représentation de $f : t \mapsto A \cdot \sin(\omega \cdot t)$ et $g : t \mapsto A \cdot \cos(\omega \cdot t)$ avec $A = 1, \omega = 2\pi$.



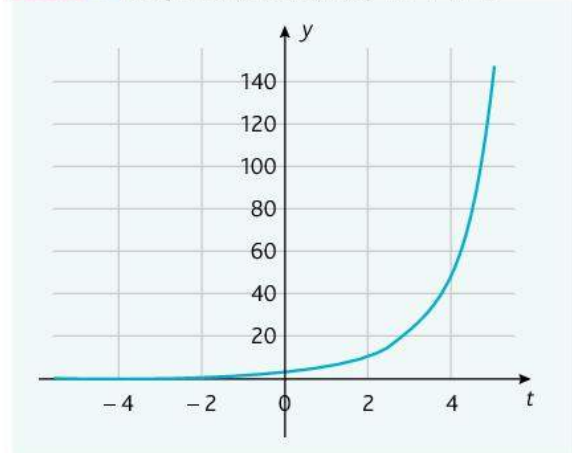
2 Fonction exponentielle (chapitres 6 et 11)

- La **fonction exponentielle** notée $f : t \mapsto A \cdot e^{(t)}$ est une fonction dite « explosive », car la valeur de $f(t)$ augmente très rapidement avec t .

Exemples :

- $e^{(0)} = 1$;
- $e^{(1)} \approx 2,7$;
- $e^{(10)} \approx 22\ 026$.

DOC. 4 Représentation de $f : t \mapsto e^{(t)}$.

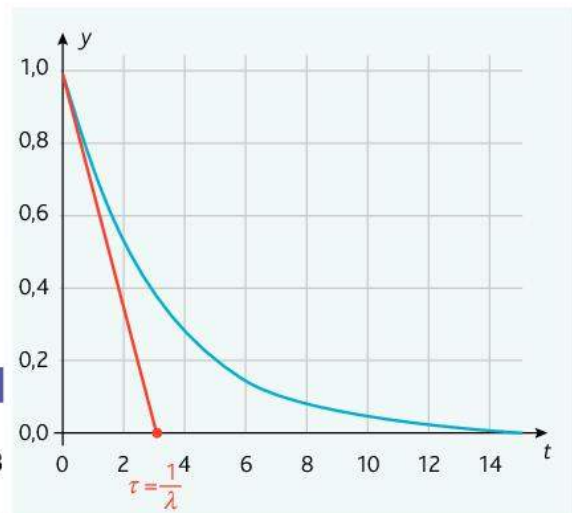


- **En physique**, on rencontrera plus souvent la fonction $f : t \mapsto A \cdot e^{(-\lambda \cdot t)}$ ou $f : t \mapsto A \cdot e^{(-\frac{t}{\tau})}$ qui peut correspondre à la modélisation d'une désintégration radioactive ou d'un retour à une forme d'équilibre.

- Ces fonctions tendent vers une valeur nulle d'autant plus rapidement que λ est important (ou t est petit).
- Une propriété graphique associée à cette fonction consiste à tracer la tangente à la courbe en $t = 0$. Elle coupe l'axe des abscisses en $t = \tau$.

DOC. 5

Représentation de $f : t \mapsto A \cdot e^{(-\frac{t}{\tau})}$ avec $\tau = 3$
ou $f : t \mapsto A \cdot e^{(-\lambda \cdot t)}$ avec $\lambda = \frac{1}{3}$.



3 Fonctions logarithmiques (chapitres 11 et 12)

» Fonction logarithme népérien

- La **fonction logarithme népérien** notée \ln permet de résoudre les équations du type $e^x = a$, qui donne la solution $x = \ln(a)$.
- La fonction est croissante et définie uniquement pour les valeurs positives.
- On retiendra pour **la physique**, la propriété :

$$\ln\left(\frac{1}{a}\right) = -\ln(a).$$

- Cette fonction est utilisée pour obtenir le temps de demi-vie d'une décroissance radioactive, en résolvant l'équation : $e^{-\lambda T_{1/2}} = \frac{1}{2}$.

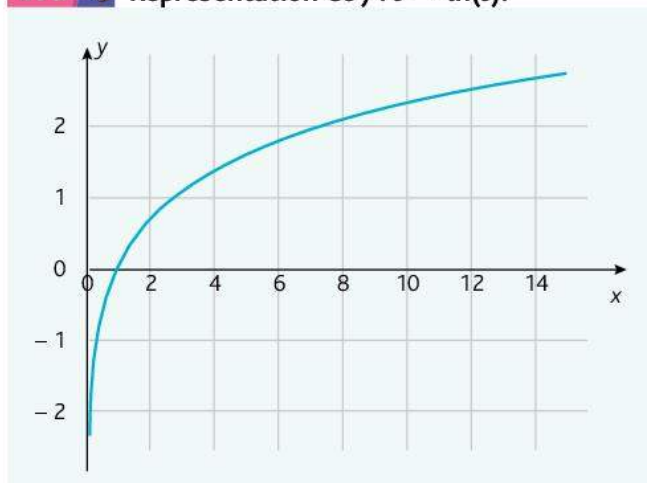
$$\text{Soit } -\lambda \cdot T_{1/2} = \ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\ln(2)$$

$$\text{soit } T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}.$$

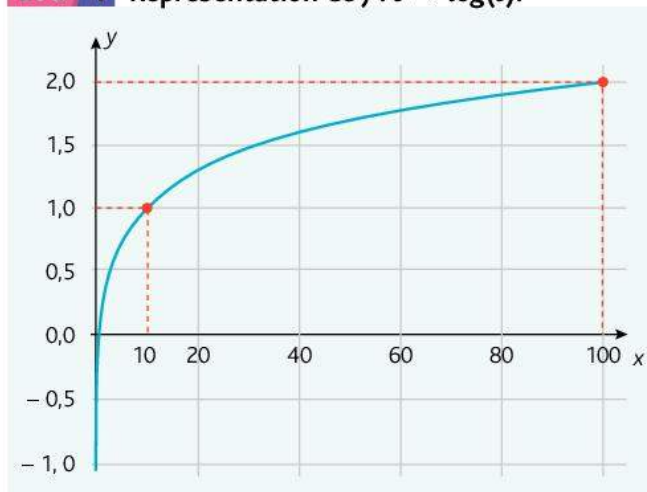
» Fonction logarithme décimale

- La **fonction logarithme décimale** notée \log permet d'inverser les équations du type $10^x = a$, soit $x = \log(a)$.
- La fonction est croissante et définie uniquement pour les valeurs positives.
- On retiendra comme **valeurs importantes** que :
 $\log(1) = 0$;
 $\log(10) = 1$;
 $\log(100) = 2$.
- Cette fonction est utilisée **en chimie** pour relier le pH à la concentration en ion $[H_3O^+]$ par la relation :
 $\text{pH} = -\log [H_3O^+]$.

DOC. 6 Représentation de $f: t \mapsto \ln(t)$.



DOC. 7 Représentation de $f: t \mapsto \log(t)$.



1 À quoi ça sert ?

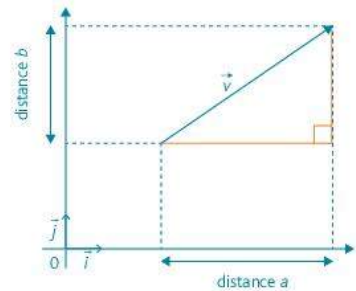
- Le produit scalaire désigne une opération entre 2 vecteurs, dont le résultat est un **nombre** (et non un vecteur !).
- Une force ne s'applique pas avec la même intensité sur une surface, selon l'angle entre la surface et la direction de la force.
- Sur le schéma ci-contre, la surface qui reçoit la force est immobile. Que se passe-t-il lorsque le point d'application bouge, lorsqu'il a une vitesse ? Comment savoir si la force appliquée peut avoir une influence sur la trajectoire et la vitesse de l'objet ? → **On utilise un produit scalaire.**



2 Comment calculer un produit scalaire entre 2 vecteurs ?

» Étape 1 • Connaître la norme des vecteurs en jeu

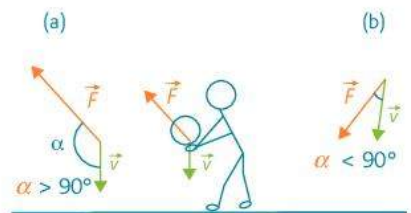
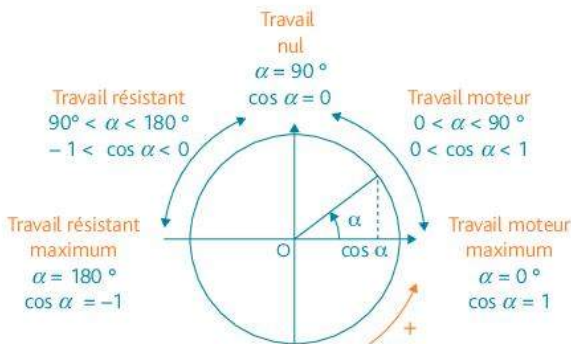
- En physique-chimie**, la norme d'un vecteur représente son intensité. Elle peut se déterminer graphiquement dans un repère orthonormé. S'il s'agit du vecteur d'une force, cette intensité s'exprime en newtons (N).
- On imagine que le vecteur est le troisième côté (l'hypoténuse) d'un triangle rectangle (en orange ci-contre). Il ne reste plus qu'à appliquer le théorème de Pythagore dans ce triangle imaginaire ! $v = \|\vec{v}\| = \sqrt{a^2 + b^2}$.



» Étape 2 • Connaître le cosinus de l'angle alpha entre les deux vecteurs

- Le cosinus de l'angle alpha** permet de connaître l'effet du travail d'une force.

Exemple : joueur de volleyball frappant le ballon. Dans le cas (a) la force appliquée au ballon s'oppose à la direction de sa trajectoire (représentée par sa vitesse \vec{v}) et $\alpha > 90^\circ$. Dans le cas (b) au contraire, la force va dans le sens de la trajectoire, et $\alpha < 90^\circ$.



» Étape 3 • Calculer le produit scalaire

- Pour calculer le produit scalaire entre 2 vecteurs \vec{F} et \vec{G} :

$$\vec{F} \cdot \vec{G} = \|\vec{F}\| \cdot \|\vec{G}\| \cdot \cos(\widehat{\vec{F}; \vec{G}}) = F \cdot G \cos \alpha.$$

Exemple : pour calculer le travail d'une force sur un solide, il faut calculer le produit scalaire du vecteur force \vec{F} et du vecteur déplacement du solide de A à B, \vec{AB} .

$$W_f = \vec{F} \cdot \vec{AB} = \|\vec{F}\| \cdot \|\vec{AB}\| \cdot \cos(\widehat{\vec{F}; \vec{AB}}) = F \cdot AB \cos \alpha.$$



Un tableur permet de manipuler une série de données pour les transformer en une grandeur intéressante pour le physicien.

Considérons par exemple une suite d'altitudes z prises à différents instants t . Il est souvent judicieux de préciser dans la première ligne le nom de la grandeur voire son unité.

	A	B
1	t (s)	z (m)
2	0	528
3	8	528
4	26	528
5	35	530
6	62	535
7	71	536
8	98	540
9	107	541
10	143	546
11	152	548
12	170	551
13	188	552
14	206	553
15	215	554

1 Transformation d'une seule cellule

- Il est possible de transformer ces données pour calculer de façon automatique l'énergie potentielle de pesanteur définie par : $E_p = m \cdot g \cdot z$.
- Dans une colonne supplémentaire, on peut affecter une formule permettant de calculer l'énergie potentielle. Dans l'exemple, l'élément à manipuler (z) est situé sur la cellule B2. Pour une personne de masse $m = 80$ kg soumis à l'accélération de la pesanteur ($g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$), la formule donnant E_p devient $=80 \cdot 9,81 \cdot B2$.

CELLULE : X ✓ fx = 80 * 9,81 * B2

	A	B	C	D
1	t (s)	z (m)	Ep	
2	0	528	=80 * 9,81 * B2	
3	8	528		
4	26	528		
5	35	530		

- Un double clic gauche sur la partie inférieure droite de la cellule conduit à un calcul automatique sur toute la colonne. Il est également possible de cliquer-glisser sur la partie indiquée pour effectuer les calculs uniquement sur une portion.

A	B	C
t (s)	z (m)	Ep
0	528	414374,4
8	528	414374,4
26	528	414374,4
35	530	415944
62	535	419868
71	536	420652,8
98	540	423792
107	541	424576,8
143	546	428500,8
152	548	430070,4
170	551	432424,8
188	552	433209,6
206	553	433994,4
215	554	434779,2

2 Utilisation de plusieurs cellules

- Sur le même exemple, on désire calculer la vitesse d'ascension définie par : $v = \frac{dz}{dt}$.

- On peut calculer une vitesse approchée par la formule : $v = \frac{dz}{dt} \approx \frac{\Delta z}{\Delta t}$

où Δz est la variation d'altitude pendant Δt . La variation d'altitude est donnée par la différence des cellules B3 et B2 ($\Delta z = B3 - B2$) et la durée par la différence entre les cellules A3 et A2 ($\Delta t = A3 - A2$).

La vitesse à l'instant A2 est donc obtenue par la relation : $v \approx \frac{B3 - B2}{A3 - A2}$.

C2 : X ✓ fx = (B3 - B2) / (A3 - A2)

A	B	C	D
t (s)	z (m)	v	
0	528	= (B3 - B2) / (A3 - A2)	
8	528		
26	528		
35	530		
62	535		

- Un double clic sur la partie inférieure droite de la cellule conduit également à un calcul automatique sur toute la colonne.

A	B	C
t (s)	z (m)	v
0	528	0
8	528	0
26	528	0,222222222
35	530	0,185185185
62	535	0,111111111
71	536	0,148148148
98	540	0,111111111
107	541	0,138888889
143	546	0,222222222
152	548	0,166666667
170	551	0,055555556
188	552	0,055555556
206	553	0,111111111
215	554	2,576744186

3 Effectuer une représentation graphique

» Tracer un nuage de points

• Pour démontrer expérimentalement un lien entre deux grandeurs différentes, le physicien est amené à effectuer une représentation graphique.

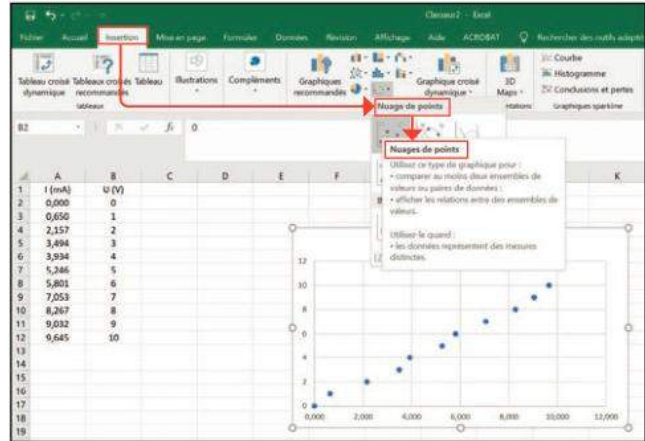
• Prenons l'exemple d'une intensité I mesurée pour différentes valeurs d'une tension appliquée à une résistance R inconnue.

Si l'on veut démontrer expérimentalement la loi d'Ohm $U = R \cdot I$, on trace la tension U en fonction de l'intensité I .

→ Les valeurs étant notées dans un tableur, on sélectionne les cellules que l'on veut représenter.

→ On choisit ensuite dans le menu, *insertion* > *Nuage de points*.

Par défaut, la première colonne correspond à l'abscisse et la seconde à l'ordonnée.

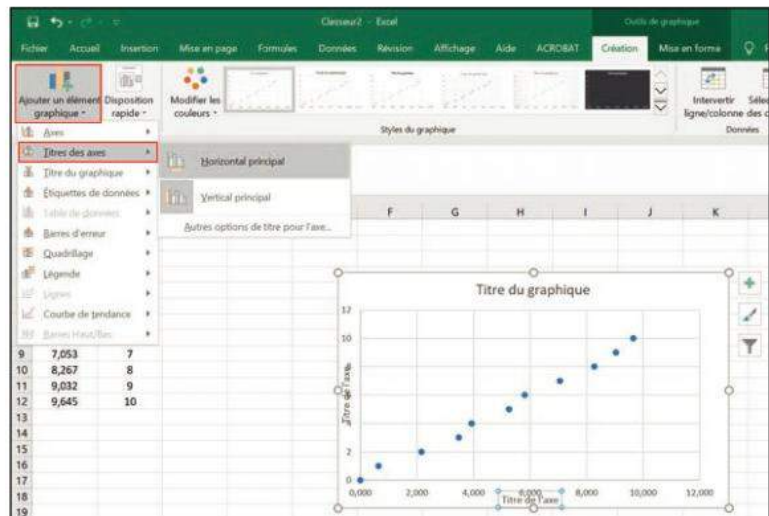


» Ajouter les titres

• Un graphique doit toujours comporter :

- un titre ;
- les noms des axes ;
- les unités des grandeurs.

• Pour les ajouter, on clique sur *Outils de graphique* > *Ajouter un élément graphique* > *Titre des axes*.

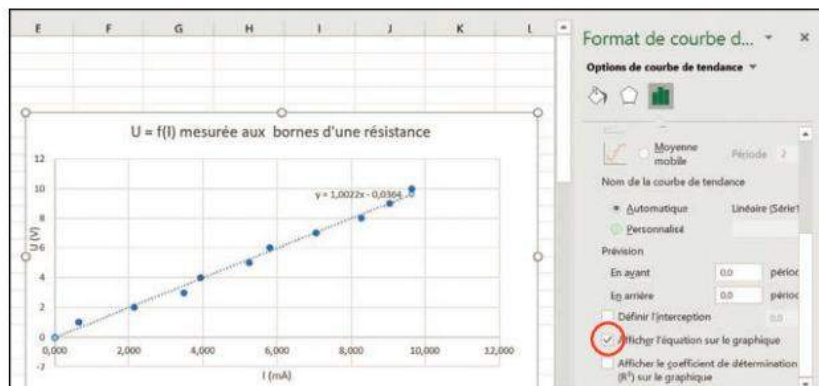


» Ajouter une droite modèle

• Il est possible d'ajouter une droite modèle issue des mesures ainsi que son équation.

Un clic droit sur les points expérimentaux permet d'ajouter une courbe de tendance. Dans le menu *Format de la courbe de tendance*, on peut choisir *Afficher l'équation sur le graphique*.

• Une droite modèle est valide si les points expérimentaux sont régulièrement répartis de part et d'autre de cette droite modèle (en pointillé sur l'exemple).





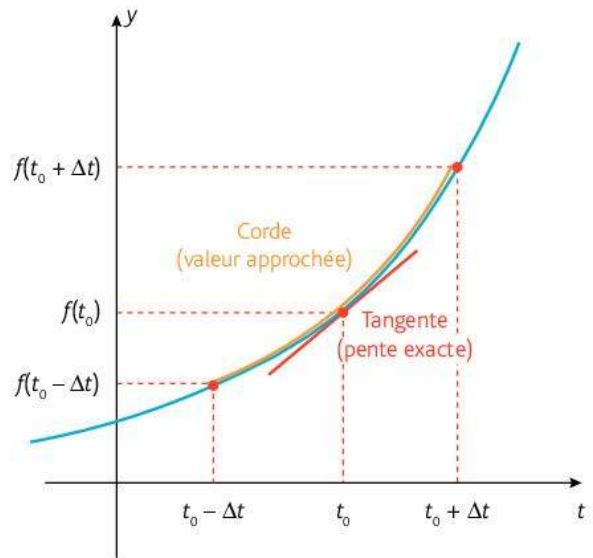
1 Définitions

- La **dérivée** d'une fonction f dépendant d'un paramètre t est obtenue par la relation suivante lorsque Δt est le plus petit possible :

$$f'(t_0) \approx \frac{f(t_0 + \Delta t) - f(t_0)}{\Delta t}$$

- Graphiquement**, le nombre dérivé $f'(t_0)$ correspond à la pente de la tangente à la courbe représentative de la fonction f (en rouge sur la figure ci-contre). L'approximation écrite ci-dessus est la pente de la corde (en orange).
- En physique**, l'approximation du nombre dérivé peut s'effectuer en prenant le point d'avant ou le point d'après. L'erreur commise sur la valeur de $f'(t_0)$ du fait que Δt ne peut pas être aussi petit que possible est identique dans les deux cas :

$$f'(t_0) \approx \frac{f(t_0) - f(t_0 - \Delta t)}{\Delta t}$$



2 Avec un tableur

» Pour un schéma dit « avant »

$$f'(t_0) \approx \frac{f(t_0 + \Delta t) - f(t_0)}{\Delta t}$$

Le calcul sur tableur est de la forme suivante :

$$v = (B3 - B2) / (A3 - A2)$$

- Le calcul d'une dérivée nécessitant deux valeurs successives, le nombre de points où est évaluée la dérivée est donc plus petit que le nombre total de points.

L'évaluation doit s'arrêter sur l'avant-dernier terme.

» Pour un schéma dit « arrière »

$$f'(t_0) \approx \frac{f(t_0) - f(t_0 - \Delta t)}{\Delta t}$$

Le calcul sur tableur est de la forme suivante, à partir de la deuxième cellule :

$$v = (B3 - B2) / (A3 - A2)$$

- L'évaluation de la vitesse ne peut être effectuée sur la première cellule, mais peut s'arrêter sur la dernière.

» Les deux méthodes décrites sont identiques en terme de précision.

La valeur obtenue n'est qu'une valeur approchée de la valeur réelle.

A	B	C
t (s)	x (cm)	v (cm/s)
0	0	
1	2,963	
2	6,003	

A	B	C
t (s)	x (cm)	v (cm/s)
0	0	2,96
1	2,963	3,04
2	6,003	3,00
3	8,998	3,00
4	12,000	3,00
5	15,002	3,00
6	18,000	2,99
7	20,997	3,01
8	24,004	2,99
9	26,998	3,00
10	29,997	3,00
11	32,996	3,00
12	35,996	3,00
13	39,000	3,00
14	42,003	3,00
15	45,003	3,00
16	48,004	2,99
17	50,997	

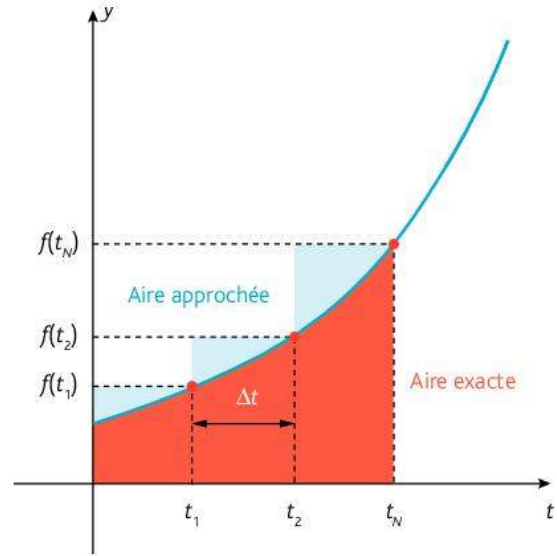
A	B	C
t (s)	x (cm)	v (cm/s)
0	0	
1	3,007	2,99
2	6,001	3,00
3	9,000	3,00
4	12,004	3,00
5	15,005	3,00
6	18,000	3,00
7	20,998	3,00
8	24,002	2,99
9	26,995	3,01
10	30,003	2,99
11	32,995	3,01
12	36,003	3,00
13	39,005	2,99
14	41,999	3,00
15	45,000	3,00
16	48,000	3,00
17	50,995	3,00

1 Définitions

- L'intégrale d'une fonction f dépendant d'un paramètre t est obtenue par la relation suivante lorsque Δt est le plus petit possible :

$$\int_0^{t_N} f(t) dt \approx \sum_{i=1}^N f(t_i) \cdot \Delta t.$$

- Graphiquement, l'intégrale de la fonction f entre 0 et t_N correspond à l'aire sous la courbe représentative de la fonction f entre 0 et t_N .
- La valeur calculée par la méthode dite « des rectangles » est d'autant proche de l'aire exacte que la valeur Δt est petite.
- En physique, le pas de temps Δt est définie par la cadence à laquelle sont effectuées les mesures.



2 Avec un tableur

Le calcul d'une intégrale avec un tableur est une somme cumulative. Il faut donc calculer l'aire de chaque rectangle et ajouter la valeur à la précédente.

Exemple d'une énergie calculée à partir d'une puissance :

- Le premier terme de l'énergie est obtenu par le calcul suivant :
 $E = B2 * (A3 - A2)$
- Les termes suivants sont obtenus en ajoutant la valeur précédente :
 $E = C2 + B3 * (A4 - A3)$

	A	B	C
1	t (s)	P (W)	E (J)
2	0	0	0,00
3	1	2,984	2,98
4	2	6,003	8,99
5	3	9,002	17,99
6	4	12,003	29,99
7	5	14,998	44,99
8	6	18,001	62,99
9	7	20,998	83,99
10	8	23,998	107,99
11	9	27,003	134,99
12	10	29,996	164,99
13	11	33,002	197,99
14	12	36,005	233,99
15	13	39,004	273,00
16	14	42,002	315,00
17	15	44,997	360,00
18	16	47,999	407,99
19	17	50,997	

- Le calcul peut être poursuivi de façon automatique jusqu'à l'avant dernière valeur en cliquant-glissant le coin droit inférieur de la deuxième case.

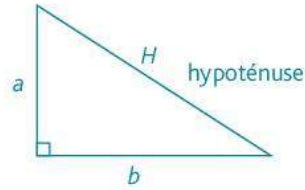
	A	B	C
1	t (s)	P (W)	E (J)
2	0	0	= B2*(A3-A2)
3	1	3,017	
4	2	5,999	
5	3	9,000	

	A	B	C
1	t (s)	P (W)	E (J)
2	0	0	0,00
3	1	2,955	=C2 + B3*(A4-A3)
4	2	6,005	

1 Théorème de Pythagore

Dans un triangle rectangle, le carré de l'hypoténuse est égal à la somme des carrés des deux autres côtés.

$$H^2 = a^2 + b^2$$



2 Relations dans le triangle rectangle

- Sinus

$$\sin(\alpha) = \frac{\text{Longueur du côté opposé à l'angle } \alpha}{\text{Longueur de l'hypoténuse}} = \frac{a}{H}$$

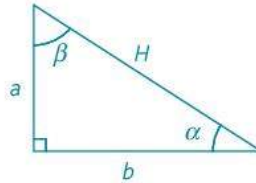
$$\sin(\beta) = \frac{\text{Longueur du côté opposé à l'angle } \beta}{\text{Longueur de l'hypoténuse}} = \frac{b}{H}$$
- Cosinus

$$\cos(\alpha) = \frac{\text{Longueur du côté adjacent à l'angle } \alpha}{\text{Longueur de l'hypoténuse}} = \frac{b}{H}$$

$$\cos(\beta) = \frac{\text{Longueur du côté adjacent à l'angle } \beta}{\text{Longueur de l'hypoténuse}} = \frac{a}{H}$$
- Tangente

$$\tan(\alpha) = \frac{\text{Longueur du côté opposé à l'angle } \alpha}{\text{Longueur du côté adjacent à l'angle } \alpha} = \frac{a}{b}$$

$$\tan(\beta) = \frac{\text{Longueur du côté opposé à l'angle } \beta}{\text{Longueur du côté adjacent à l'angle } \beta} = \frac{b}{a}$$



Astuce

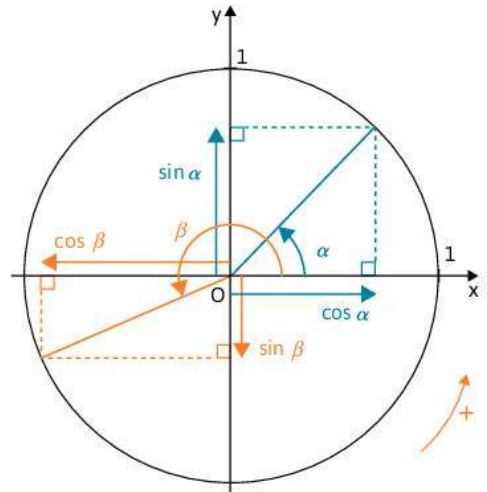
Pour se souvenir

S O C A T O
H H A

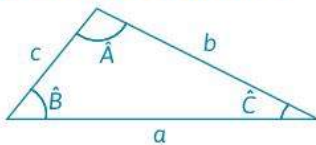
Sinus = Opposé / Hypoténuse ;
Cosinus = Adjacent / Hypoténuse ;
Tangente = Opposé / Adjacent.

3 Lecture graphique des sinus et cosinus sur un cercle trigonométrique

- Un **cercle trigonométrique** est un cercle :
 - orienté ;
 - dont le rayon vaut 1 ;
 - assorti d'un repère orthonormé ayant son origine au centre du cercle.
- Sur un cercle trigonométrique, **on peut lire graphiquement** :
 - en abscisses, la valeur du cosinus de l'angle ;
 - en ordonnées, la valeur du sinus de l'angle.



4 Théorème d'Al-Kashi



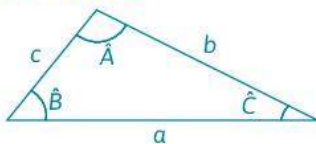
- Dans un triangle quelconque :

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos \hat{A}$$
- Cette relation est également valable pour les 2 autres côtés et les deux autres angles du triangle :

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2 \cdot a \cdot c \cdot \cos \hat{B}$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \hat{C}$$

5 Loi des sinus



- Dans un triangle quelconque :

$$\frac{\sin \hat{A}}{a} = \frac{\sin \hat{B}}{b} = \frac{\sin \hat{C}}{c}$$

1 À partir d'une fonction mathématique

Ici, on connaît $U(t) = 30\sin(2\pi \cdot f \cdot t)$

```

1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4
5 t = np.linspace(0, 0.02, 50)
6 U = 30*np.sin(2*np.pi*f*t)
7
8 plt.plot(t,U, '-b')
9
10 plt.ylabel('Tension (V)')
11 plt.xlabel('«durée (s)»)
12
13 plt.title('«Tension sinusoïdale», fontsize='14')
14
15 plt.grid([True])
16
17 plt.text(0.009, 22, r'$U(t)=U_0 \times \sin(2 \pi \cdot f \cdot t)$', size='16', color="red")
18
19
20 plt.show()
    
```

Tableau de 50 valeurs de t, de 0 à 0,02.
Tableau de valeurs de U=f(t), à partir de la fonction sin.

Création de la courbe U=f(t), en traits bleu (-b)

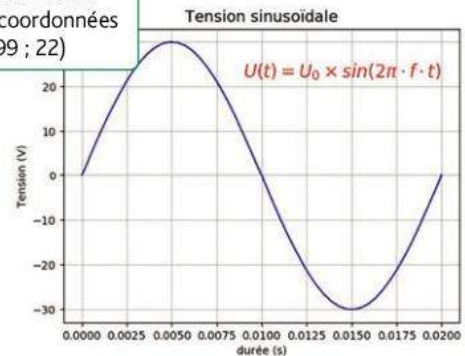
Titres des deux axes

Titre du graphique

Affichage d'une grille

Formule écrite aux coordonnées (0,099 ; 22)

Affichage du graphique



2 À partir de mesures expérimentales

Ici, on a les données :

Hauteurs d'eau	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Valeurs de pression	1010,4	1013,6	1017,2	1020,4	1025,1	1027,8

```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 h=[0,0.05,0.10,0.15,0.20,0.25]
5 p=[1010.4,1013.6,1017.2,1020.4, 1025.1,1027.8]
6
7 plt.ylabel('P (hPa)')
8 plt.xlabel('«h (m)»)
9
10 plt.title('«Pression dans l'eau en fonction de la
11 profondeur», fontsize='12')
12
13 plt.yticks([1010,1015, 1020,1025, 1030])
14
15 plt.grid([True])
16
17 plt.plot(h, p, '+b', markersize='8')
18
19 plt.show()
    
```

numpy : pour utiliser fonctions et tableaux. Renommée np.
matplotlib.pyplot : pour tracer des graphiques. Renommée plt.

Tableaux de valeurs de h et p

Titres des axes

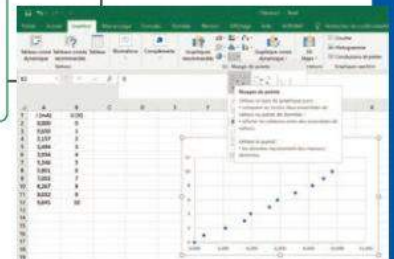
Titre du graphique

Choix (optionnel) des graduations des ordonnées

Affichage d'une grille

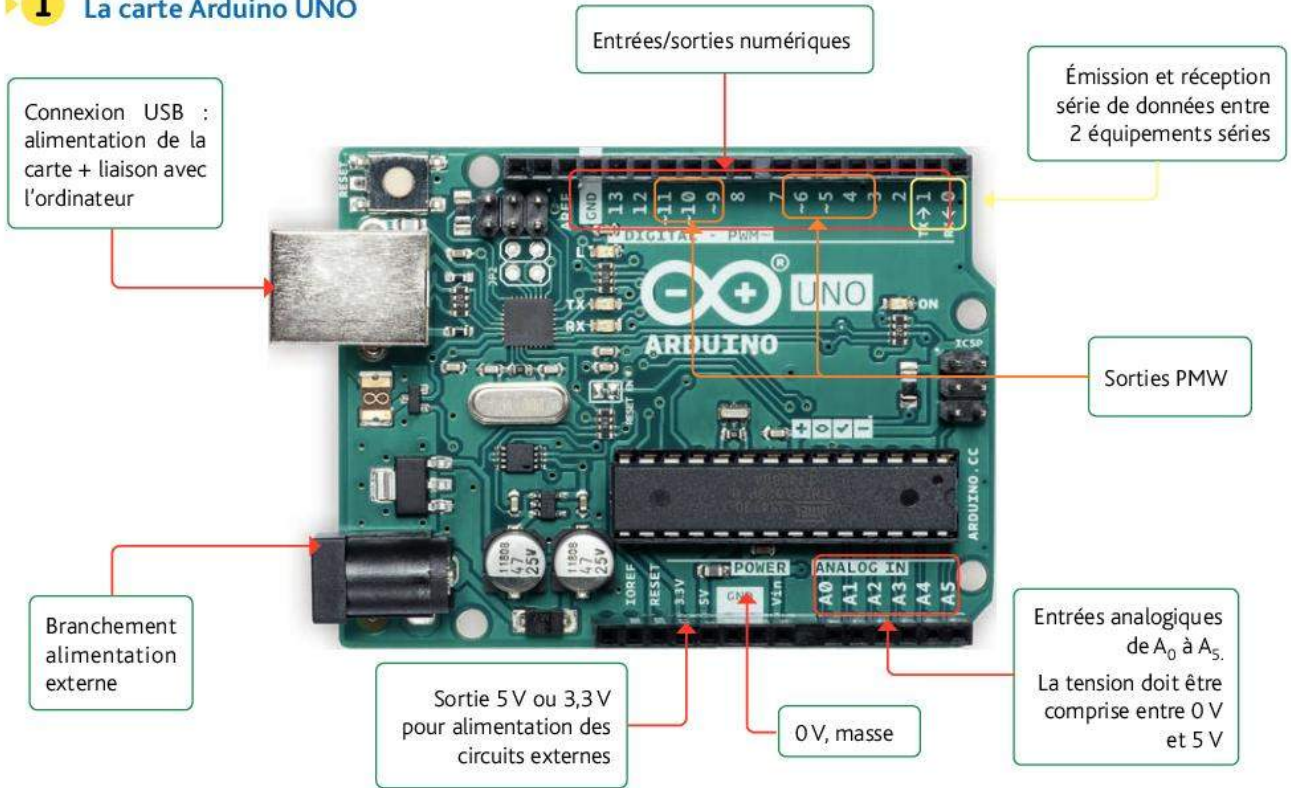
Création du graphique p=f(h), points sous forme de « + » bleus.

Affichage du graphique.

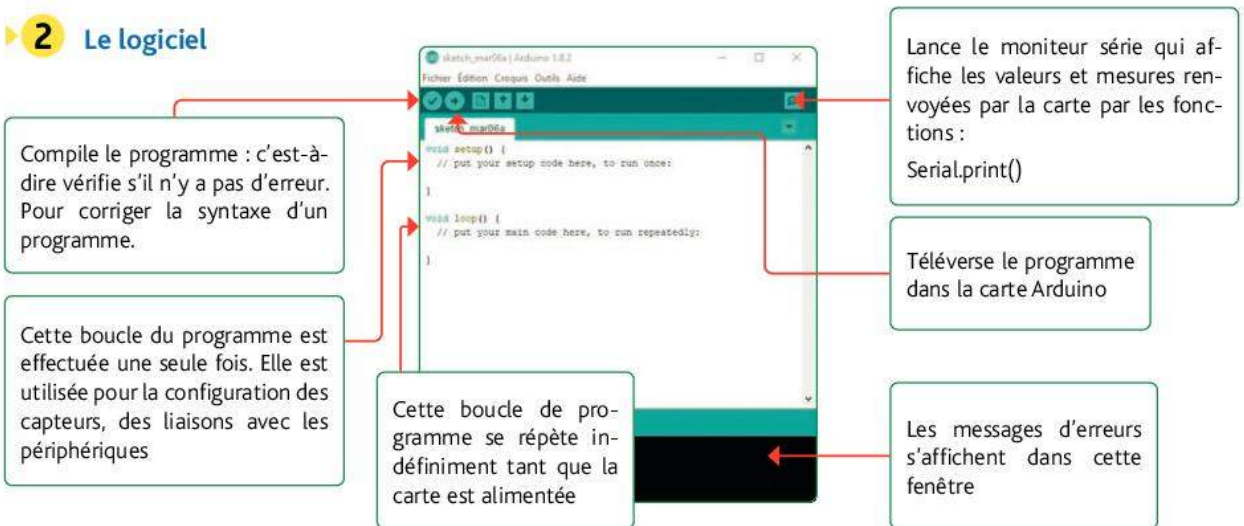




1 La carte Arduino UNO



2 Le logiciel



3 Avec un capteur numérique de température et d'humidité

» On peut utiliser la carte Arduino avec un capteur numérique de température et d'humidité DHT22.

Lors de l'achat d'un capteur ou d'un actionneur, il faut télécharger la fiche technique du fabricant (elle contient les caractéristiques techniques et les branchements), et la librairie du capteur contenant les données du capteur nécessaire pour la carte arduino.



Exemple :

Datasheet : <https://www.gotronic.fr/art-capteur-de-t-et-d-humidite-dht22-20719.htm>

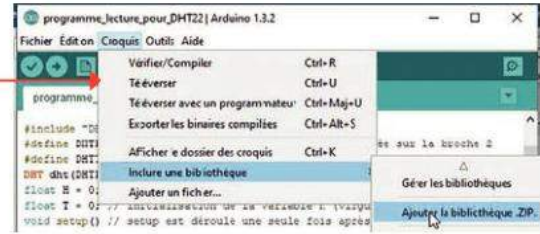
Librairie : <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>

» Déclarer la librairie d'un capteur dans Arduino

Après avoir téléchargé la librairie, il faut l'inclure dans le logiciel Arduino :

Croquis > Inclure une bibliothèque > Ajouter une bibliothèque

Exemple de programme pour lire les valeurs issues d'un capteur numérique :
Programme à télécharger.



```
programme_lecture_pour_DHT22 | Arduino 1.8.2
Fichier Édition Croquis Outils Aide

programme_lecture_pour_DHT22

#include "DHT.h" // inclusion de la librairie DHT
#define DHTPIN 2 // la borne data du capteur est branchée sur la broche 2
#define DHTTYPE DHT22 // #define DHTTYPE DHT22 (pour un capteur DHT22)
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // on indique la broche et le type de capteur
float H = 0; // initialisation de la variable h (virgule flottante)
float T = 0; // initialisation de la variable h (virgule flottante)
void setup() // setup est déroulé une seule fois après la remise à zéro
{
  Serial.begin(9600); // initialisation de la liaison série à 9600 bauds
  dht.begin(); // initialisation du capteur
}

void loop() // loop est déroulé indéfiniment
{
  H = dht.readHumidity(); // lecture de la valeur de l'humidité
  T = dht.readTemperature(); // lecture de la valeur de la température

  Serial.print("Humidité :"); // affichage message
  Serial.print(H); // affichage valeur humidité
  Serial.print(" %\n");
  Serial.print("Température :"); // affichage message
  Serial.print(T); // affichage valeur température
  Serial.println(" °C");

  delay(1000); // attente 1 seconde
}

Téléversement terminé
Le croquis utilise 5104 octets (15%) de l'espace de stockage de programmes. Le ma
Les variables globales utilisent 257 octets (12%) de mémoire dynamique, ce qui la
```

Inclusion de la bibliothèque

Affecte à la macro DHTPIN la valeur 2

Déclaration du type de capteur DHT

Déclaration du capteur sur la broche d'entrée 2

Déclaration et initialisation des variables

Initialisation de la liaison série

Initialisation du capteur

Lecture des données humidité et température

Affichage sur le moniteur série des valeurs de l'humidité et de la température

Attente de 1 s = 1 000 ms avant de recommencer la boucle loop

» 4 Arduino : un système autonome

- Une fois le programme téléversé, la carte continue de fonctionner de manière autonome, sans ordinateur, à condition d'être alimentée. Il faut aussi connecter la carte à un écran LCD.



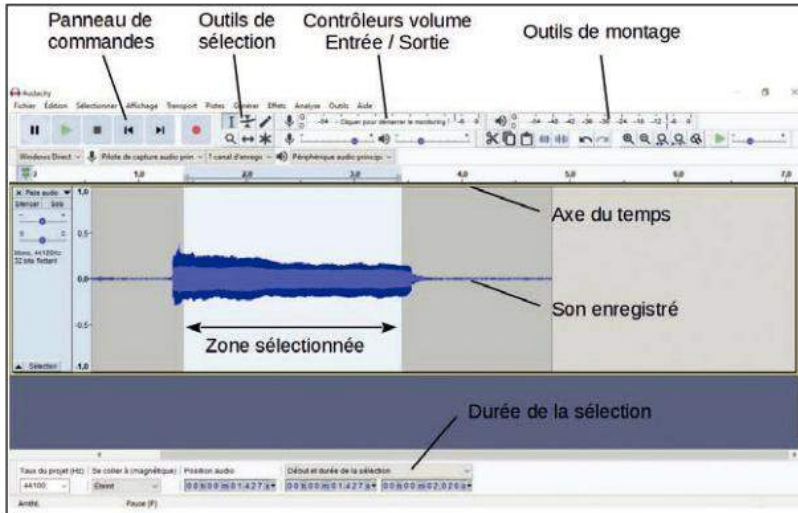
Programme pour connecter un écran à télécharger.



- Lien pour apprendre avec Arduino :
<https://www.arduino.cc/>
https://ent2d.ac-bordeaux.fr/disciplines/sciences-physiques/wp-content/uploads/sites/7/2018/10/exemples_arduino_physique.pdf

1 À quoi ça sert ?

- **Audacity** est un logiciel d'édition audio ainsi que d'enregistrement de sons numériques. Ce logiciel open-source est disponible pour la plupart des systèmes d'exploitation.
- Ce logiciel permet d'enregistrer des sons, de sélectionner une partie de l'enregistrement, de faire du montage.
- Il permet aussi une analyse d'un son comme son aspect général, sa durée, mais aussi sa composition plus fine au moyen d'une analyse spectrale.



2 Comment enregistrer un son ?

Dans le panneau de commandes :



- Brancher un microphone et cliquer sur le bouton rouge (record).
- Pour arrêter l'enregistrement, cliquer sur le bouton (stop).

3 Comment sélectionner une zone de travail ?

Dans Outils de sélection :



- Cliquer sur le bouton I.
- Cliquer à l'endroit où la sélection doit commencer, laisser le bouton gauche de la souris enfoncé jusqu'à la fin désirée et relâcher le bouton de la souris.
- Ajuster le début et la fin de sélection en plaçant le curseur de la souris au voisinage, une main apparaît qu'on peut déplacer.

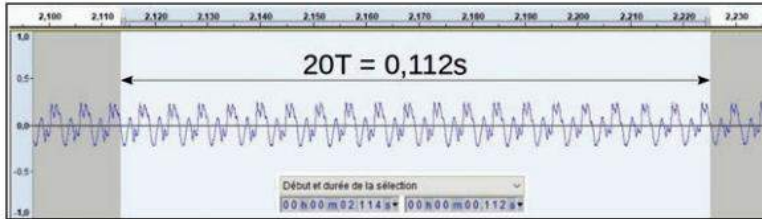
4 Comment zoomer afin de visualiser l'aspect du signal ?

- » **Zoom vertical** : placer le curseur en bas de la piste, il change de forme et on peut tirer vers le bas.
- » **Zoom horizontal**
- Dans les outils de sélection, cliquer sur le bouton (magnifying glass).
- Se déplacer alors sur le piste et cliquer sur le bouton gauche plusieurs fois. En cliquant sur le bouton droit, on peut dézoomer.

5 Comment mesurer la période T et la fréquence f d'un signal ?

- Sélectionner une partie du signal.
- Zoomer jusqu'à visualiser des motifs répétitifs.
- Choisir, pour une bonne précision, un grand nombre de périodes.
- Lire la durée de la sélection.

Exemple



» Calcul de la période T

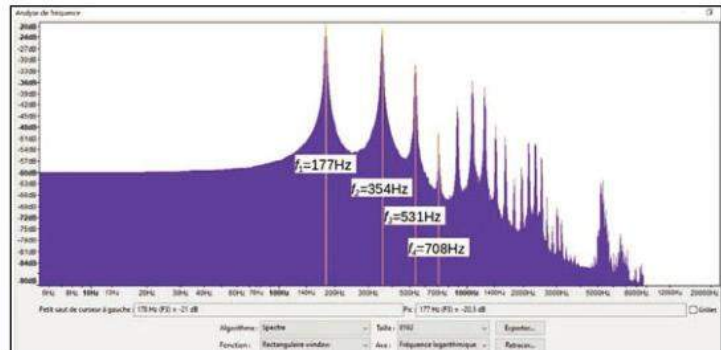
$$20 T = 0,112 \Leftrightarrow T = \frac{0,112}{20} = 0,00560 \text{ s.}$$

» Calcul de la fréquence f

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,00560} = 179 \text{ Hz.}$$

6 Comment obtenir une analyse spectrale d'un signal ?

- Dans le menu Analyse, choisir la fonction « Tracer le spectre ».
- Obtenir un graphe exploitable, en faisant varier la « Taille » et en choisissant pour « Axe » soit « Fréquence linéaire » soit « Fréquence logarithmique ».
- Le son est décomposé en son fondamental ($f_1 = 177 \text{ Hz}$) et ses harmoniques de rang k : $f_k = k \cdot f_1$.
 $f_2 = 354 \text{ Hz}, f_3 = 531 \text{ Hz}, f_4 = 708 \text{ Hz}$.

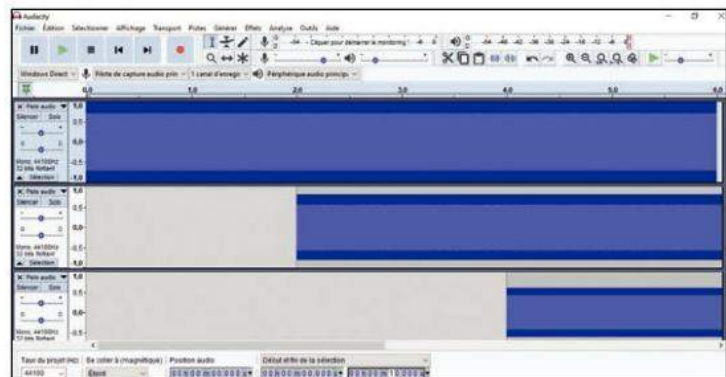


7 Comment générer un son ?

Le but est de générer un son complexe à partir de son fondamental et de ses harmoniques de rang 2.

- Créer un nouveau projet.
- Dans le menu « Générer », choisir « Tonalité ».
- Générer un son de forme sinusoïdal, de fréquence 440 Hz, d'amplitude 1,0 et d'une durée de six secondes.
- Générer un son de fréquence $f_2 = 880 \text{ Hz}$ et d'amplitude 0,8 (en suivant le chemin « Pistes\Ajouter nouvelle\piste mono »).
- Jouer le morceau en sélectionnant éventuellement le début et la fin de la sélection.

Exemple avec trois signaux de fréquences, 440 Hz, 880 Hz et 1320 Hz, décalés de 2 s.

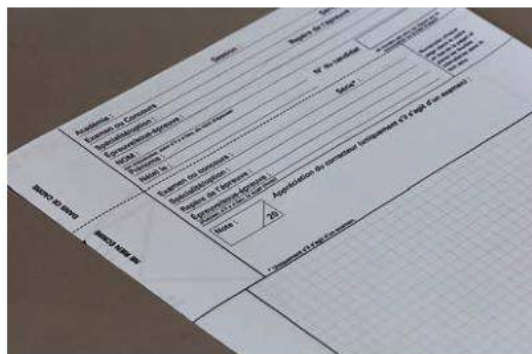




Se préparer à l'écrit

De quoi est composé l'écrit ?

- Vous devrez résoudre de **trois à cinq exercices** indépendants abordant des domaines différents du programme. Parmi certains exercices, des questions porteront à la fois sur les connaissances de **mathématiques** et celles de **physique-chimie**. Vous ne devez donc pas être troublé face à des exercices mêlant les deux matières.
- Certains exercices évalueront des **compétences expérimentales**, soyez donc vigilants tout au long de l'année lors des séances de travaux pratiques. La démarche scientifique et les capacités acquises lors de ces activités seront contextualisées et utilisées dans l'épreuve écrite. Vous aurez à analyser des documents détaillant des **applications scientifiques et technologiques** contemporaines ainsi qu'à exploiter des données expérimentales.



Remarques

Vous n'aurez pas obligatoirement droit à la calculatrice, dans ce cas les calculs numériques seront évidemment adaptés.

Comment est noté l'écrit ?

- L'ensemble des exercices est noté sur **20 points**, répartis de la façon suivante :
 - **6 points** pour l'évaluation des compétences propres aux **mathématiques** ;
 - **14 points** pour celles propres à la **physique-chimie**.
- L'épreuve sera corrigée par un professeur de mathématiques et un professeur de physique-chimie. Il convient donc de rédiger vos réponses en tenant compte des conseils de rédaction de chaque matière prodigués par vos enseignants tout au long de l'année.

Comment préparer l'écrit ?

Identification des points faibles

- Pour réussir vos écrits et y aller sans stress, vous devez vous assurer d'avoir **compris chacun des chapitres**.
- Une méthode efficace est de reprendre l'ensemble de vos évaluations pour identifier les parties du programme sur lesquels vous êtes le plus fragile. Il vous sera beaucoup plus profitable de **travailler vos points faibles** que de continuer à travailler des chapitres que vous maîtrisez (même si c'est satisfaisant intellectuellement).



Réviser pour le jour J... (et pour les devoirs tout au long de l'année)

Pour apprendre un cours, tourner les pages d'un livre et les lire ne suffit pas.

- Rédigez des fiches pour chaque chapitre, avec les points clefs du cours ou des cartes mentales de la même forme que celles proposées à la fin de chaque cours dans cet ouvrage.

- Une fois ces fiches complétées, abordez quelques exercices corrigés afin de vérifier vos connaissances.
 - Si vos réponses sont correctes, vous pouvez valider ce chapitre.
 - Le cas échéant, essayez de déterminer les éléments manquants à l'aide de la correction.
- Vérifiez ensuite que la fiche que vous avez réalisée contient bien toutes les informations utiles.
- Une méthode de travail très efficace consiste à refaire quelques jours plus tard un exercice où vous avez échoué. Le reprendre permettra de fixer les connaissances qui vous ont fait défaut.

Appréhender les exercices mélangeant mathématiques et physiques

Dans chaque chapitre, des liens ont été explicités vers les chapitres de mathématiques

Maths

Liens avec les maths

Lorsque vous voyez ces logos, il sera intéressant de reprendre les chapitres de mathématiques correspondants pour les réviser de la même façon que ceux de sciences physiques. Les questions de mathématiques seront de la même forme que celles que vous aurez abordé pendant l'année, elles pourront simplement être insérées à l'intérieur d'un exercice de physique.

Check-list avant l'épreuve

- J'ai posé des questions sur les concepts que je ne comprenais pas.
- J'ai effectué une fiche de révision.
- Je connais les formules à utiliser.
- Je connais le cadre de validité de ces formules.
- Je sais refaire les exercices vus en classe.
- J'ai réussi quelques exercices nouveaux.

Se préparer à l'oral

Qu'est-ce que le grand oral ?

Le grand oral durera 20 minutes, et vous aurez 20 minutes de préparation. Vous commencerez par présenter au jury **deux questions que vous aurez préparées** en amont avec vos professeurs. Elles porteront uniquement sur la spécialité, faisant l'objet d'une étude approfondie. Le déroulé du grand oral est le suivant.



Un exposé (5 min)

- Le jury choisira une des deux questions préparées, et vous donnera donc 20 minutes pour préparer votre réponse. Celle-ci prendra la forme d'un **exposé de 5 minutes** que vous présenterez obligatoirement debout et sans note.
- Le candidat explique pourquoi il a choisi de préparer cette question pendant sa formation, puis il la développe et y répond.

Un dialogue avec les examinateurs (10 min)

Ensuite, vous aurez 10 minutes d'échanges avec le jury. On attendra de vous que vous mettiez en avant **vos connaissances** du programme de la ou des spécialités concernées. Vous pourrez choisir de vous asseoir ou de rester debout.



Un échange sur l'orientation (5 minutes)

Enfin, les 5 dernières minutes du grand oral tourneront autour de votre **projet d'orientation**. Vous devrez expliquer en quoi la question traitée a participé à façonner votre projet de poursuite d'études, voire votre projet professionnel.

Comment est noté le grand oral ?

L'épreuve est évaluée sur **5 critères** notés de *très insuffisants* à *très satisfaisant* :

La qualité orale de l'épreuve

Lors de votre présentation, vous devrez avoir un **débit de parole fluide** et vous faire entendre du jury. En parlant d'une voix suffisamment forte, votre exposé devra être sans langage familier et utiliser les mots de vocabulaires spécifiques au sujet traité.

La qualité de la prise en de parole en continu

Le jury attend de vous que vous n'ayez pas à chercher vos mots et que votre discours soit bien construit. Il ne faut donc pas faire des phrases sans lien entre elles mais faire comprendre aux examinateurs **leurs liens logiques**, preuves de votre réflexion.

La qualité des connaissances

Les **connaissances acquises** pendant l'année doivent être réutilisées lors de votre exposé. Il faut montrer que vous avez intégré dans vos réponses les contenus enseignés par vos professeurs. Le vocabulaire associé aux notions utilisées doit donc être maîtrisé.

La qualité de l'interaction

Lors de la 2^e et 3^e partie (dialogue avec l'examineur ou échange sur l'orientation), le jury attend de vous des réponses détaillées. Il faut donc éviter de répondre juste par OUI ou NON. Vous devez capable de faire une réponse en **développant vos arguments**.

La qualité et construction de l'argumentation

L'argumentation que vous développerez pour répondre à la question posée doit être étayer par **des exemples** ou **des données précises**. Il faudra montrer que la question posée s'inscrit dans une problématique plus vaste.

Comment préparer le grand oral ?

Choix du sujet

Votre sujet doit porter sur un thème qui vous importe puisqu'il y aura des questions relatives à votre **orientation**, en correspondance avec le **sujet choisi**. Il doit également faire partie des thèmes abordés pendant l'année où vous êtes le plus à l'aise.

Vers le grand oral

Face à ce pictogramme, vous trouverez des ressources pour vous préparer au Grand Oral de votre baccalauréat.



L'argumentation

- Votre argumentation doit s'appuyer sur des **faits précis** ou des **données précises**.
- Renseignez-vous sur la façon dont d'autres personnes ont répondu à votre question ou une question similaire.
- Notez et mémorisez quelques résultats précis afin d'appuyer vos arguments.
- Par exemple, si votre sujet traite d'une production d'énergie renouvelable, et qu'un de vos arguments nécessite la puissance électrique fournie par des panneaux solaires, vous pouvez utiliser une phrase du type « Le rapport 2019 des experts de l'Agence International de l'Énergie indique que la puissance totale des panneaux solaires est de 117 GW, donc... ». Toutes les données que vous citez doivent être issues de sources fiables.

Réviser le cours

- Identifiez quels sont les cours que vous avez eu pendant l'année qui sont en lien avec le sujet posé.
- Maîtrisez le vocabulaire associé ainsi que les concepts ; par exemple en faisant une petite fiche avec le vocabulaire spécifique pour les chapitres concernés.

La préparation à la maison et au lycée

Un oral n'est pas une épreuve d'improvisation. Il faut vous entraîner, montre en main, pour vérifier que votre présentation n'est **ni trop longue ni trop courte**. Plusieurs essais seront nécessaires pour que les phrases de votre argumentation sortent librement de votre bouche et que vous ne butiez pas sur vos mots. Ainsi, vous devez être capable de parler d'une **voix articulée, sans hésitations** intempestives et avec le **bon vocabulaire**. La préparation est donc une phase essentielle pour la fluidité de votre discours.

À l'oral Pour progresser dans votre prise de parole, proposez à l'oral une réponse à votre professeur.

La préparation le jour J

Pendant les 20 minutes de préparation, ne recopiez pas l'intégralité de votre discours. Indiquer simplement les quelques **points clefs** de votre argumentaire, au besoin, les données chiffrées que vous utiliserez.

Check-list avant l'épreuve

- J'ai identifié les chapitres de cours et les ai révisés.
- Je connais les mots de vocabulaire spécifiques au sujet.
- Je me suis renseigné sur les enjeux associés à mon sujet.
- Je connais les liens entre mon sujet et mon orientation.
- Je connais des arguments, des données précises et de sources fiables.
- Je me suis entraîné plusieurs fois, Je parle 5 min sans hésitation.

Toute l'équipe de cet ouvrage vous souhaite une bonne lecture et une excellente réussite



Mesure et incertitudes

Se préparer

1. c 2. b 3. b 4. a 5. b 6. b

Je fais le point

Questions flash

1. b 2. a 3. a 4. a 5. b et c 6. b et c

Vrai ou faux ?

1. Faux 2. Vrai 3. Faux 4. Faux 5. Faux 6. Vrai

Exercices

- 5
- $v = 2,08 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
 - $u(D) = 0,408 \text{ mm}$ (double erreur de lecture).
 $u(\Delta t) = 0,023 \text{ s}$ (1 digit = 0,01 s car la durée affichée va jusqu'au centième).
 - $u(v) = 0,02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (un seul chiffre significatif, arrondi au plus près exceptionnellement).
 - $v = (2,08 \pm 0,02) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

- 8
- $D = 6,992 \text{ mm}$.
 - $r = 0,001 \text{ mm}$.
 - $u(D) = 0,000 3 \text{ mm}$.
 - $D = 6,992 0 \pm 0,000 3 \text{ mm}$.

Chapitre 1

Se préparer

1. a et b 2. a et c 3. c 4. b 5. a et c

Je fais le point

Questions flash

1. a 2. a et b 3. a et c 4. c 5. b

Vrai ou faux ?

1. Vrai 2. Vrai 3. Faux, c'est l'inverse.
4. Faux, cela dépend de la puissance. 5. Vrai

Exercices

- 13
- $E_{\text{elec}} = P \cdot \Delta t = 0,500 \times 6,0 = 3,0 \text{ J}$.
 - $\Delta E_{\text{pp}} = m \cdot g \cdot h = 0,300 \times 9,81 \times 0,60 = 1,77 \text{ J}$.
 - $\rho = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{absorbée}}} = \frac{\Delta E_{\text{pp}}}{E_{\text{elec}}} = \frac{1,77}{3,0} = 0,59 = 59 \%$.
- 16
- $Q = m \cdot c_{\text{eau}} \cdot (\theta_f - \theta_i) = 200 \times 4 185 \times (60 - 10)$
 $Q = 41,85 \times 10^6 \text{ J} \approx 42 \text{ MJ}$.
 - $\Delta t = 6 \text{ h} = 2,16 \times 10^4 \text{ s}$.
 $E_{\text{elec}} = P \cdot \Delta t = 2,5 \times 10^3 \times 2,16 \times 10^4 = 54 \text{ MJ}$.

3. L'ensemble du système convertit de l'énergie électrique en énergie thermique.

$$4. \rho = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{absorbée}}} = \frac{Q}{E_{\text{elec}}} = \frac{42 \text{ MJ}}{54 \text{ MJ}} \approx 0,777 \approx 78 \%$$

Chapitre 2

Se préparer

1. a 2. b 3. b 4. b 5. a 6. c 7. b et c

Je fais le point

Questions flash

1. c 2. b 3. c 4. a 5. a 6. b

Vrai ou faux ?

1. Vrai 2. Faux 3. Faux 4. Vrai 5. Vrai 6. Faux
7. Faux

Exercices

- 11
- Lors de sa décharge, une batterie convertit une énergie chimique en énergie électrique.
 - Énergie chimique stockée : $W = \frac{52,0}{0,90} = 58 \text{ W} \cdot \text{h}$.
 - L'énergie est dissipée sous forme de chaleur.
 - $U = \frac{W}{Q} = \frac{52,0}{3,55} = 14,6 \text{ V}$.
Il faut donc $\frac{14,6}{3,6} = 4$ accumulateurs.
- 13
- $2 \text{ H}^+ + 2 \text{ e}^- = \text{H}_2$
 $\text{O}_2 + 4 \text{ e}^- + 4 \text{ H}^+ = 2 \text{ H}_2\text{O}$
 - Le dihydrogène H_2 est oxydé.
 - $$\begin{array}{r} 2 \text{ H}_2 \rightarrow 4 \text{ H}^+ + 4 \text{ e}^- \\ \text{O}_2 + 4 \text{ e}^- + 4 \text{ H}^+ \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O} \\ \hline 2 \text{ H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O} \end{array}$$
 - Durée d'utilisation : $\Delta t = \frac{Q}{I} = \frac{1250}{20} = 62,5 \text{ heures}$.

Chapitre 3

Se préparer

1. a 2. b 3. c 4. b 5. b et c

Je fais le point

Questions flash

1. b 2. c 3. b 4. a et b 5. b 6. a

Vrai ou faux ?

1. Vrai 2. Faux 3. Faux 4. Faux 5. Faux
6. Faux

Exercices

- 9 1. 200 mV : sensibilité de la voie.
0,050 ms : le balayage ou la base de temps.
2. $\hat{U} = 3 \times 200 = 600$ mV. $U = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}} = \frac{6}{\sqrt{2}} = 424$ mV.
3. Sensibilité de la sonde 100 mV/A.
Donc $\hat{I} = \frac{\hat{U}}{100} = \frac{600}{100} = 6$ A et $I = \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}} = 4,24$ A.
4. Période $T = 4,0 \times 0,050 = 0,20$ ms.
Fréquence $f = 1/T = 1/(0,20 \times 10^{-3}) = 5,0$ kHz.
5. phase à l'origine : $\varphi = \pi$ rad.

- 15 1. 220 V : Valeur efficace nominale de la tension d'alimentation du moteur.
2. 50 Hz : Fréquence nominale de la tension d'alimentation.
3. 0,75 kW : Puissance utile nominale (puissance mécanique).
4. 0,95 : Facteur de puissance au point nominal (à charge nominale).
5. 4,85 A : Intensité efficace du courant nominal.

Chapitre 4

Se préparer

1. b 2. b 3. b 4. a 5. b

Je fais le point

Questions flash

1. a et b 2. c 3. b et c 4. a 5. c 6. a

Vrai ou faux ?

1. Vrai 2. Faux 3. Vrai 4. Vrai 5. Faux 6. Faux

Exercices

- 11 1. La résistance du corps humain diminue lorsque la tension de contact augmente.
2. La résistance du corps vaut environ 3,0 kΩ.
3. $I = 8,3$ mA. il n'y a aucun effet physiologique dangereux.
15 1. $R = 18 \Omega$.
2. $I_1 = 300$ A et $I_2 = 6\,000$ A.
3. Pertes joules : $P_{j1} = 1,62$ MW et $P_{j2} = 648$ MW.

4. Le transport de l'énergie électrique sous très haute tension permet de diminuer les pertes joules dans les lignes.

Chapitre 5

Se préparer

1. c 2. b 3. b 4. a 5. c

Je fais le point

Questions flash

1. b 2. b 3. a 4. b 5. a et c 6. c

Vrai ou faux ?

1. Faux 2. Vrai 3. Faux 4. Faux 5. Vrai

Exercices

- 9 1. $S = (3,50 \times 2,70) \times 2 + (8,00 \times 2,70) \times 2 = 62,1$ m².
2. $R_{th} = R_{th \text{ brique}} + R_{th \text{ laine}} + R_{th \text{ plâtre}}$
$$R_{th} = \frac{10 \times 10^{-2}}{1,0} + \frac{10 \times 10^{-2}}{0,040} + \frac{1,3 \times 10^{-2}}{0,25}$$
$$R_{th} = 2,65 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}.$$
3. $\varphi = \frac{\theta_{chaud} - \theta_{froid}}{R_{th}} = \frac{18 - 0}{2,65} = 6,8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$ 4. $\phi = \varphi \cdot S = 6,8 \times 62,1 = 422$ W.
5. $Q = \phi \cdot \Delta t = 422 \times 24 = 10,1$ kW · h.

- 14 1. $R_{th} = R_{th \text{ bois}} + R_{th \text{ isolant}} = \frac{3,0 \times 10^{-2}}{1,15} + \frac{10 \times 10^{-2}}{0,038}$
 $R_{th} = 2,66 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}.$ 2. Si la température est la même à l'intérieur et à l'extérieur, il n'y a pas de transfert thermique. Le flux thermique est donc nul.
3. Lorsque le chauffage est en route, la température intérieure augmente et le flux thermique à travers les parois augmente.
4. À l'équilibre la température intérieure reste constante, car le flux thermique à travers les parois est égal à la puissance fournie par le chauffage.
5. On a $\varphi = \frac{\theta_{chaud} - \theta_{froid}}{R_{th}}$.
Donc $\theta_{chaud} = (R_{th} \times \varphi) + \theta_{froid} = (R_{th} \times \frac{\phi}{S}) + \theta_{froid}$
$$\theta_{chaud} = \left(2,65 \times \frac{500}{50} \right) + (-5) = 21,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Chapitre 6

Se préparer

1. c 2. b 3. b 4. b 5. a et b



Je fais le point

Questions flash

1. c 2. a 3. a 4. a et b 5. a et c 6. a, b et c

Vrai ou faux ?

1. Vrai 2. Vrai 3. Vrai 4. Faux, les forces de frottements ne sont pas perpendiculaires au déplacement.
5. Vrai

Exercices

- 9 1. $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{P} = m \cdot \vec{a}$.
2. Le vecteur accélération \vec{a} du marteau est donc de même sens et de même direction que le vecteur poids \vec{P} .
Sa norme vaut $a = \|\vec{a}\| = \frac{P}{m} = \frac{m \cdot g}{m} = g = 1,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.
3. Pour la plume d'oiseau, le même raisonnement s'applique et on s'aperçoit que l'accélération est la même que pour celle du marteau (puisque a ne dépend pas de la masse).

- 11 1. Puisque le produit d'une masse (en kg) par une accélération (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$) est égal à une somme de forces (en N), on a donc : $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} = \text{N}$.
2. La masse volumique ρ est en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; la surface S en m^2 et la vitesse v en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$3. C_x = \frac{f_{\text{fluide}}}{\frac{1}{2} \times \rho \times S \times v^2}$$

Le coefficient $\frac{1}{2}$ est sans unité. Unité de $C_x = \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}{\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \times \text{m}^2 \times \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}} = \emptyset$, donc sans unité.

Chapitre 7

Se préparer

1. b 2. c 3. a 4. a et c 5. c

Je fais le point

Questions flash

1. a 2. b 3. b 4. d 5. a 6. a et b

Vrai ou faux ?

1. Vrai 2. Faux 3. Faux 4. Faux 5. Vrai

Exercices

- 2 1. $\omega = 33 \times \frac{2\pi}{60} = 3,5 \text{ rad/s}$.
2. $v = R \cdot \omega = \frac{0,30}{2} \times 3,5 = 0,52 \text{ m/s}$.

- 10 1. $v_{\text{min}} = \frac{d_{\text{min}}}{\Delta t} = \frac{10 \text{ cm} + 2 \text{ cm} + 10 \text{ cm}}{2 \text{ s}} = 0,11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
2. $v_b = \frac{5,0 \text{ m}}{4,78 \text{ s}} = 1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} > v_{\text{min}}$, donc pas de superposition de 2 fromages.
3. $\omega = \frac{v_b}{R} = \frac{1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{0,056 \text{ m}} = 19 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
 $\omega = \frac{19 \times 60}{2\pi} \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1} = 178 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

Chapitre 8

Se préparer

1. c 2. a 3. b 4. c 5. b 6. c

Je fais le point

Questions flash

1. b 2. b 3. a 4. c 5. a 6. b

Vrai ou faux ?

1. Faux, principe de transformation des panneaux solaires. 2. Faux, sans masse, mais avec une énergie.
3. Vrai 4. Faux, il fournit de l'énergie électrique continue. 5. Vrai 6. Vrai

Exercices

- 1 1. $E = 1,12 \times 1,6 \times 10^{-19} = 1,792 \times 10^{-19} \text{ J}$.
2. $E = h \cdot f$,
donc $f = \frac{E}{h} = \frac{1,792 \times 10^{-19}}{6,63 \times 10^{-34}} = 2,7 \times 10^{14} \text{ Hz}$.
3. $f = \frac{c}{\lambda}$,
donc $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2,7 \times 10^{14}} = 1,11 \times 10^{-6} \text{ m} = 1,11 \mu\text{m}$.
4 $P_L = 1\,000 \times (0,35 \times 0,25) = 87,5 \text{ W}$.

Chapitre 9

Se préparer

1. c 2. a et c 3. b 4. b et c 5. a et b

Je fais le point

Questions flash

1. c 2. c 3. b 4. c 5. b et c 6. b

Vrai ou faux ?

1. Faux, $P_{\text{atm}} = 1\,013 \text{ hPa}$. 2. Vrai
3. Faux, elle vaut environ 5 bars. 4. Vrai 5. Vrai

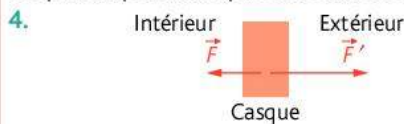
Exercices

- 11 **Parcours A.** Pour identifier le liquide inconnu, il faut calculer sa masse volumique :

$$\rho = \frac{\Delta P}{g \cdot h} = \frac{1225}{9,81 \times 10 \times 10^{-2}} \approx 1248 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

Il s'agit de la glycérine.

- 14 1. Non, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$.
2. $F = P \cdot S = 300 \times 350 \times 10^{-4} = 10,5 \text{ N}$.
3. La pression à l'intérieur de sa combinaison est plus importante que la pression extérieure. On peut donc affirmer que la force pressante exercée par l'air intérieur est plus importante que celle exercée par l'air extérieur.



Chapitre 10

Se préparer

1. a et c 2. a, b et c 3. c 4. a et c. 5. a
6. b et d

Je fais le point

Questions flash

1. c 2. a et b 3. a et b 4. a et c 5. b

Vrai ou faux ?

1. Vrai
2. Faux, seulement à la pression atmosphérique de 1 bar.
3. Faux, c'est pour passer de l'état solide à l'état liquide qu'il faut apporter de l'énergie.
4. Faux. $L_{\text{liq}} = -2257 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} < 0$.
5. Faux, $Q = m \cdot L$.

Exercices

- 13 Énergie apportée pour amener les 10 g d'aluminium à la température de fusion (de 20°C environ à 660°C) :
 $Q_1 = m \cdot c_{\text{Al}} \cdot (\theta_{\text{fusion}} - \theta_1) = 0,010 \times 0,90 \times (660 - 20)$
 $Q_1 \approx 5,8 \text{ kJ}$.

Énergie apportée pour réaliser juste la fusion des 10 g d'aluminium :

$$Q_{\text{fusion}} = m \cdot L_{\text{fusion}} = 0,010 \times 0,40 \times 10^3 \approx 4,0 \text{ kJ}.$$

Soit en arrondissant largement (les pertes ne sont pas prises en compte) : $Q = Q_1 + Q_{\text{fusion}} \approx 10 \text{ kJ}$ ce qui équivaut à une puissance de chauffe de

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{10 \text{ kJ}}{10 \text{ s}} \approx 1 \text{ kW}.$$

- 16 1. $Q_1 = m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{vapeur}} \cdot (\theta_2 - \theta_1)$
 $Q_1 = 2,25 \times 1,4 \times (100 - 200) \approx -315 \text{ kJ}$ (< 0 car baisse de température, l'eau libère de l'énergie).

2. $Q_2 = m_{\text{eau}} \cdot L_{\text{condensation}} = 2,25 \times (-2,25) = -5,0 \text{ MJ}$
($L_{\text{condensation}} = -L_{\text{vaporisation}}$).

3. $Q_3 = m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot (\theta_2 - \theta_3)$
 $Q_3 = 2,25 \times 4,2 \times (50 - 100) \approx -473 \text{ kJ}$.

4. La quantité totale d'énergie récupérée dans les chaudières à condensation grâce au refroidissement de l'eau vaut donc environ $0,315 + 5,0 + 0,473 = 5,8 \text{ MJ}$.

Cela correspond à environ $11,6\% \left(\frac{5,8}{50}\right)$ de l'énergie libérée par la combustion, ce qui augmente d'autant le rendement des chaudières.

Chapitre 11

Se préparer

1. a et c 2. b 3. a 4. b 5. a et c

Je fais le point

Questions flash

1. b et c 2. b et c 3. a et c 4. a 5. a et c
6. a et c

Vrai ou faux ?

1. Faux, sauf pour une désexcitation γ . 2. Vrai
3. Vrai, $2 \times 2 \times 2 = 8$. 4. Faux, l'activité est faible si la demi-vie est longue (pour un nombre donné de noyaux). 5. Faux, elle diminue en se transformant en énergie. 6. Faux, elle est encore au stade d'étude expérimentale.

Exercices

- 15 1. $\Delta m = 3,1381 \times 10^{-29} \text{ kg}$.

$$E = 2,82 \times 10^{-12} \text{ J} = 17,6 \text{ MeV}.$$

2. 51 millions de m^3 d'eau de mer.

3. a. Ils sont émis par la fusion du deutérium et du tritium.

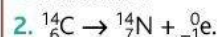
b. $5,032 \times 10^{32}$ noyaux de tritium.

c. Noyaux de lithium 6 et de tritium en même nombre, donc il faut 5031 tonnes de tritium.

- 17 1. a. Les rayons cosmiques transforment certains noyaux d'azote 14 en carbone 14.

b. Dans un petit nombre de molécules de CO_2 .

c. Il diminue.



3. Par exemple : [22 920 ans ; 28 650 ans].

4. a. 5 730 ans.

b. $T_m \approx 8\,267 \text{ ans}$. $t_c \approx 25\,766 \text{ ans}$.

c. $t_c = (25\,766 \pm 100) \text{ ans}$.

5. [-28 349 ans ; -27 685 ans].



Chapitre 12

Se préparer

1. a et b 2. c 3. a et b 4. b 5. a

Je fais le point

Questions flash

1. b et c 2. c 3. b 4. c 5. a 6. b

Vrai ou faux ?

1. Faux 2. Vrai 3. Faux, pH = 3,6. 4. Vrai 5. Vrai
6. Faux, pH = 4,8.

Exercices

- 8 1. L'espèce $\text{ClO}^-_{(\text{aq})}$ est la base conjuguée de l'acide $\text{HClO}_{(\text{aq})}$.
2. Prélever 50 mL d'eau de Javel commerciale. Verser ce prélèvement dans un contenant de 1,5 L. Ajouter lentement et en agitant de l'eau déminéralisée jusqu'à atteindre les 1,5 L.
3. Le pH va diminuer car le solvant (l'eau) a un pH de l'ordre de 6 à 8 donc inférieur à celui de la solution d'eau de Javel commerciale.

- 9 1. $\text{HNO}_{3(\text{aq})} / \text{NO}_{3(\text{aq})}^-$
2. $\text{H}_2\text{SO}_{3(\text{aq})} / \text{HSO}_{3(\text{aq})}^-$ et $\text{HSO}_{3(\text{aq})}^- / \text{SO}_{3(\text{aq})}^{2-}$
3. $\text{H}_2\text{CO}_{3(\text{aq})} / \text{HCO}_{3(\text{aq})}^-$ et $\text{HCO}_{3(\text{aq})}^- / \text{CO}_{3(\text{aq})}^{2-}$

Chapitre 13

Se préparer

1. c 2. a et b 3. b 4. b 5. c 6. b

Je fais le point

Questions flash

1. a et c 2. b et c 3. a et c 4. b et c 5. b
6. a, b et c

Vrai ou faux ?

1. Faux 2. Vrai 3. Vrai 4. Faux 5. Vrai 6. Faux

Exercices

- 10 1. Ne pas dépasser 80 dB en moyenne sur 8 h. Ne pas dépasser 135 dB sur un bruit émis d'un seul coup.
2. Pour 8 h de travail : $I_1 = 1,0 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Bruit sec : $I_2 = 31 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.
3. Le travailleur doit consulter régulièrement le médecin. L'employeur doit signaler les zones de bruit et limiter leur accès. Utiliser les protecteurs individuels, observer des phases de repos.

11 1. $L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$.

2. $I = I_0 10^{\frac{L}{10}}$, Aspirator : $I_{\text{Aspi}} = 2,5 \times 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.
Voraçor : $I_{\text{Vora}} = 6,3 \times 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

3. $\frac{I_{\text{Vora}}}{I_{\text{Aspi}}} = \frac{6,3 \times 10^{-5}}{2,5 \times 10^{-5}} = 3,2$.

4. Environ 3 aspirateurs Aspirator ensemble.

Chapitre 14

Se préparer

1. a et b 2. a 3. b et c 4. a, b et c 5. b

Je fais le point

Questions flash

1. a 2. a 3. a et c 4. b 5. a et b 6. a et b

Vrai ou faux ?

1. Vrai 2. Faux 3. Vrai 4. Vrai 5. Vrai 6. Vrai

Exercices

- 8 1. La porteuse.
2. Grandes ondes : amplitude modulée. FM : fréquence modulée.
3. Grandes ondes : largeur du domaine :
 $270 - 150 = 120 \text{ kHz}$. $N = \frac{120}{9} = 13$ radios.
FM : largeur du domaine : $108 - 88 = 20 \text{ MHz}$.
 $N = \frac{2 \times 10^3}{180} = 111$ radios.
4. grandes ondes : $\frac{9}{150} = 6,0 \%$,
FM : $\frac{180}{88 \times 10^3} = 0,20 \%$.
L'encombrement est plus faible pour la FM, plus de stations de radio sont possibles.

- 12 1. Certaines ondes (entre 1,6 et 12 MHz) sont réfléchies par l'ionosphère.
2. Les deux systèmes NVIS doivent émettre avec des fréquences différentes pour éviter le brouillage.

3. $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00 \times 10^8}{12 \times 10^6} = 25 \text{ m}$

et $\lambda = \frac{3,00 \times 10^8}{1,6 \times 10^6} = 1,9 \times 10^2 \text{ m}$.

$25 \text{ m} \leq \lambda \leq 1,9 \times 10^2 \text{ m}$.

4. $\lambda = 56,6 \text{ m}$;

$L = 28,3 \text{ m}$;

hauteur moyenne : $0,15\lambda = 0,15 \times 56,6 = 8,5 \text{ m}$.

5. Aller-retour : 240 km ;

$\Delta t = 800 \mu\text{s}$.

