

Représenter graphiquement y en fonction de x

En fonction des données que l'on souhaite représenter, il existe différents types de graphiques (histogrammes, diagrammes circulaires, graphique linéaire...). Le graphique linéaire représente des courbes ou des nuages de points. Il est généralement utilisé pour montrer l'évolution d'une grandeur y en fonction d'une variable x , ce qui est généralement noté $y = f(x)$.

Les étapes à suivre pour réaliser un graphique linéaire

- 1.** Identifier les grandeurs à représenter sur chaque axe : y (en ordonnée) en fonction de x (en abscisse)
- 2.** Si elle n'est pas imposée par l'énoncé, choisir une échelle adaptée pour chaque axe en fonction des valeurs minimum et maximum de chaque grandeur.
- 3.** Graduer chaque axe en utilisant les échelles choisies (ou imposées par l'énoncé).
- 4.** Tracer une flèche à l'extrémité de chaque axe, écrire à côté de la flèche la grandeur représentée et son unité entre parenthèses.
- 5.** Représenter chaque point par un signe « + » correspondant à l'intersection de ses coordonnées.
- 6.** Ne relier les points que si cela a un sens et qu'on veut par exemple montrer une évolution. Par exemple, si on représente la masse des planètes du système solaire en fonction de leur distance au Soleil, cela n'a pas de sens de relier les points du graphique car ce sont des données discontinues.
- 7.** Si on choisit de relier les points (par exemple pour montrer l'évolution de la température en fonction du temps), relier alors les points à main levée.
- 8.** Si on souhaite modéliser un nuage de points par une droite (appelée droite de régression), utiliser une règle pour tracer la droite passant par un maximum de points.



Correction

Application

On mesure la vitesse d'une bille lâchée à un mètre du sol en fonction du temps.

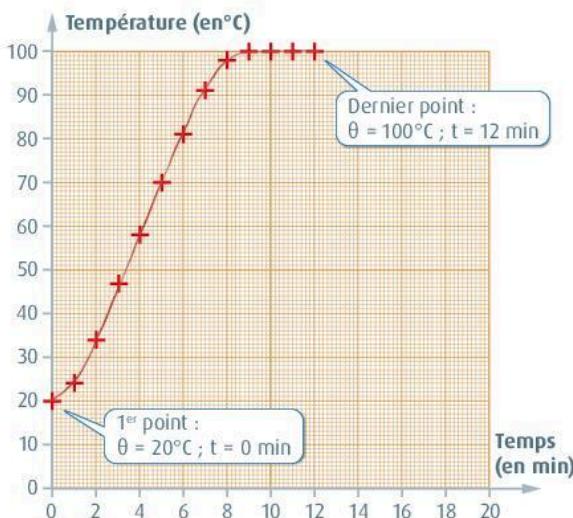
Représenter ces données sous forme de graphique linéaire.

v ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	t (s)
0	0
2,42	0,247
3,43	0,35
4,2	0,429
4,85	0,495

Donner un titre au graphique

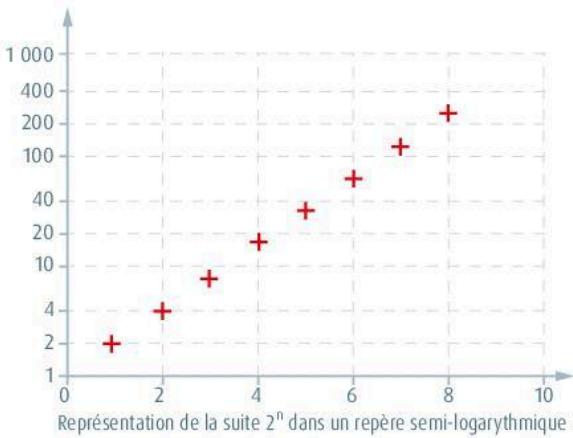
Par exemple :

Évolution de la température en fonction du temps



Repère logarithmique

On peut utiliser parfois un repère logarithmique pour représenter des phénomènes exponentiels ou des mesures qui n'ont pas le même ordre de grandeur. Dans ce cas, les grandes valeurs sont rapprochées, comprimées, tandis que les nombres inférieurs à 1 sont très espacés, dilatés. On représente par exemple les termes de la suite 2^n pour $n = 0, \dots, 8$ de la manière suivante:



Construire et lire un diagramme circulaire

Un diagramme circulaire, également appelé «camembert» permet de représenter de manière très visuelle une répartition de plusieurs valeurs sous forme de pourcentages. Les angles au centre de chaque secteur angulaire sont proportionnels à ces valeurs.

Exemple:

Le tableau ci-contre indique les parts de différentes sources d'énergies primaires par rapport à la production totale d'énergie dans le monde en 2017.

On cherche à représenter cette répartition sous forme d'un diagramme circulaire.

Énergie primaire	Production (en % de la production mondiale)
Charbon	27
Pétrole	32
Gaz naturel	22
Nucléaire	5
Énergie renouvelable	14

Les étapes à suivre

- 1. Remplir un tableau de proportionnalité associant chaque pourcentage à la valeur de son angle à calculer.**

Valeurs (%)	Angles (°)
100	360
8,3	a
81,7	b
22	c
5	d
14	e

- 2. Calculer les angles à l'aide des relations de proportionnalité.**

$$a = \frac{27 \times 360}{100} \approx 97^\circ$$

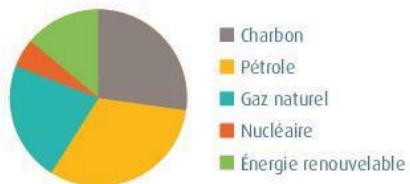
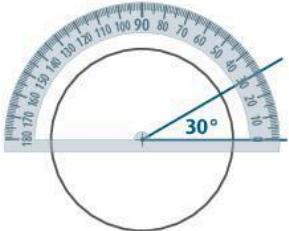
$$b = \frac{32 \times 360}{100} \approx 115^\circ$$

$$c = \frac{22 \times 360}{100} \approx 79^\circ$$

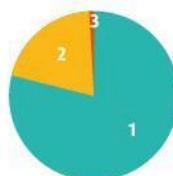
$$d = \frac{5 \times 360}{100} \approx 18^\circ$$

$$e = \frac{14 \times 360}{100} \approx 51^\circ \text{ ou } e = 360 - (a + b + c + d) \\ = 360 - (97 + 115 + 79 + 18) = 51^\circ.$$

- 3. Construire le diagramme à l'aide d'un rapporteur.**



- 4. Remarque:** quand certaines valeurs sont très petites par rapport aux autres, on peut représenter un deuxième diagramme circulaire imbriqué dans le premier.



Lire un diagramme circulaire

La plupart du temps, les pourcentages sont indiqués sur le diagramme circulaire à lire. Si ce n'est pas le cas, on peut retrouver les pourcentages à partir de la valeur des angles à l'aide des relations de proportionnalité.

Exemple: Calculer les pourcentages associés aux secteurs 1, 2 et 3 du diagramme circulaire ci-contre.

Les étapes à suivre

- 1. Utiliser un rapporteur pour mesurer chaque secteur angulaire.**

- 2. Préparer un tableau de proportionnalité, pour l'exemple, ci-contre:**

Secteurs	Angles au centre (°)	Valeurs (%)
1	284	a
2	73	b
3	3	c

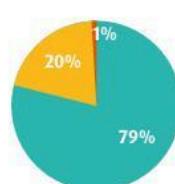
- 3. Calculer les valeurs correspondantes à chaque angle, sachant que 100 % correspond à 360° donc :**

$$a = \frac{284 \times 100}{360} \approx 78,9\%$$

$$b = \frac{73 \times 100}{360} \approx 20,3\%$$

$$c = 100 - X - Y = 0,8\%$$

On obtient le diagramme ci-contre.



Réaliser une application numérique

Comment réaliser une analyse dimensionnelle?

Avant de réaliser une application numérique, il est recommandé de vérifier l'exactitude de la formule littérale à l'aide des unités de chaque grandeur, on dit qu'on réalise une analyse dimensionnelle.

Par exemple :

$$v(\text{objet}) = d(\text{objet}) \times \Delta t$$

\uparrow \uparrow

m \times s

Cette formule donnerait une vitesse exprimée en m.s, ce n'est pas possible, donc cette formule littérale n'est pas correcte.

$$v(\text{objet}) = \frac{d(\text{objet})}{\Delta t}$$

← m
← s

Cette formule donne une vitesse exprimée en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, les unités sont homogènes.

Comment déterminer le nombre de chiffres significatifs d'une valeur?

Le résultat d'une application numérique s'exprime avec un nombre de chiffres significatifs qui dépend de la précision des données.

Par exemple :

$$R = 0,05120 \text{ m}$$

→ Ce «0» est **significatif** : il apporte de la précision à la mesure.

Cette valeur est donnée avec **4 chiffres significatifs**

→ Ces «0» ne sont **pas significatifs**, ils n'apportent pas de précision à la mesure, il suffit de changer d'unité pour en ajouter ou en retirer.

Comment donner le résultat d'un calcul en écriture scientifique et/ou déterminer son ordre de grandeur?

- Le nombre de chiffres significatifs du résultat d'un calcul est défini par la grandeur la moins précise qui intervient dans ce calcul.

Par exemple :

$$v(\text{objet}) = \frac{d(\text{objet})}{\Delta t}$$

où $d(\text{objet}) = 0,135 \text{ m}$

et $\Delta t = 2 \text{ s}$

3 chiffres significatifs

1 chiffre significatif

Le résultat de ce calcul est $v(\text{objet}) = \frac{d(\text{objet})}{\Delta t} = 0,0675$ mais il ne peut être donné qu'avec un seul chiffre significatif donc $v(\text{objet}) \approx 0,07 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- Pour donner le résultat d'un calcul avec le nombre de chiffres significatifs adéquats, on peut utiliser la notation scientifique :

$a \times 10^n$ où $1 \leq a < 10$

Par exemple :

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad \text{où} \quad m = 150 \text{ kg} \quad g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \quad h = 12 \text{ m}$$

$$E_p = 150 \times 9,81 \times 12 \approx 1,8 \cdot 10^4 \text{ J}$$

- À partir de la notation scientifique, on peut déterminer l'ordre de grandeur d'une valeur : il s'agit de la puissance de 10 la plus proche.

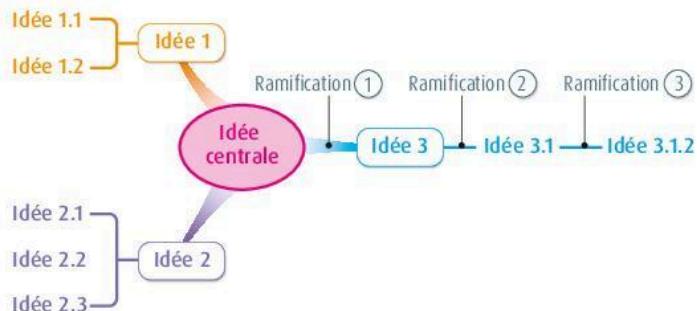
Par exemple : L'ordre de grandeur de l'énergie potentielle calculée ci-dessus est 10^4 J .

Fiche Méthode 4

Synthétiser un chapitre sous forme de carte mentale

Qu'est-ce qu'une carte mentale ?

- Une carte mentale est un outil qui aide à organiser ses connaissances sur un sujet donné. Elle est personnelle car elle représente d'une certaine façon la manière dont chacun pense.
- L'idée la plus importante est placée au centre. À partir du centre, des branches partent pour placer les idées de seconde importance. Ainsi de suite, on continue les ramifications en allant de plus en plus vers les détails.



Quelques règles à respecter

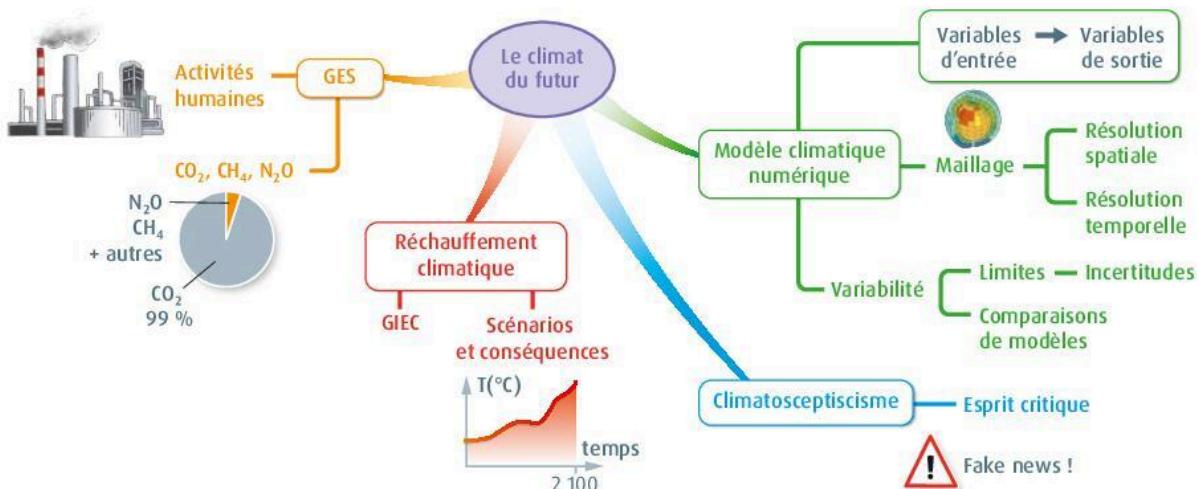
- Une carte mentale doit être lisible : n'utiliser que 2-3 mots-clés par ramifications
- On peut utiliser des couleurs différentes pour des ensembles d'idées différentes.
- Ne pas hésiter à ajouter des dessins pour illustrer les idées. Cela favorise la mémorisation.
- La hiérarchisation des idées peut être mise en évidence par la taille des caractères ou l'épaisseur du trait : du plus gros au plus petit vers la périphérie de la carte.

Les étapes à suivre

1. Reprendre le cours et noter :
 - les mots nouveaux et/ou importants;
 - les méthodes et savoir-faire à connaître.
2. Surligner d'une même couleur les mots et les méthodes que l'on peut associer.
3. Tracer une première carte au brouillon, en plaçant au centre le titre du chapitre.
4. Partir du centre pour représenter les différentes rubriques de couleur.
5. On peut aussi utiliser un site gratuit de création de cartes mentales comme : <https://framindmap.org> ou <https://coggle.it/> ...

Exemple de carte mentale pour le chapitre «Le climat du futur»

Les mots importants	Les méthodes et savoir-faire
<ul style="list-style-type: none"> - modèle climatique numérique - résolution spatiale - résolution temporelle - variables d'entrée - variables de sortie (température, vent, humidité) - variabilité des modèles (limites/ incertitudes et comparaisons) - gaz à effet de serre (GES) - activité humaine émettrices de GES - gaz principaux: CO₂, CH₄, N₂O - climatoscepticisme - réchauffement climatique - GIEC (acteur du climat) 	<ul style="list-style-type: none"> - comprendre le maillage permettant de réaliser un modèle climatique - lire sur un diagramme circulaire les pourcentages de GES - comprendre la différence entre une corrélation et une causalité - faire preuve d'esprit critique face aux informations - comprendre les scénarios d'évolution climatique et leurs conséquences



Utiliser un tableur-grapheur

Un tableur-grapheur est un logiciel permettant de traiter des données numériques : on utilisera le tableur pour effectuer des calculs et le grapheur pour représenter ces données numériques sous forme graphique.

Utiliser le tableur

Le tableau de données est en fait une grille que l'on appelle «**feuille de calcul**». Elle est composée de lignes (1,2,3,...) et de colonnes (A,B,C...). Chaque case du tableau est une «**cellule**», elle est repérée par sa position: intersection d'une ligne et d'une colonne. Une **plage de cellules** est constituée de plusieurs cellules sélectionnées.

	A	B	C	D	E
1		Élèves	Distances parcourues (m)		
2		Romain	1205		
3		Eva	1312		
4		Kaled	1158		
5		Marie	1083		
6					
7					
8					

La cellule sélectionnée est encadrée en vert, dans l'exemple ci-dessus il s'agit de l'intersection entre la colonne C et la ligne 4, c'est donc la cellule C4.

Les principales fonctionnalités d'un tableur sont les suivantes:

- saisie de données : par saisie directe, copier/coller ou par ajout de valeurs automatique;
- encadrement et remplissage (trame ou fond) de cellules;
- insertion de colonnes ou de lignes;
- mise en forme du contenu des cellules (format de nombre par exemple);
- calcul à partir de formules (fonctions préprogrammées: somme, moyenne... ou fonctions personnalisées).



Toute formule rentrée doit commencer par le signe =

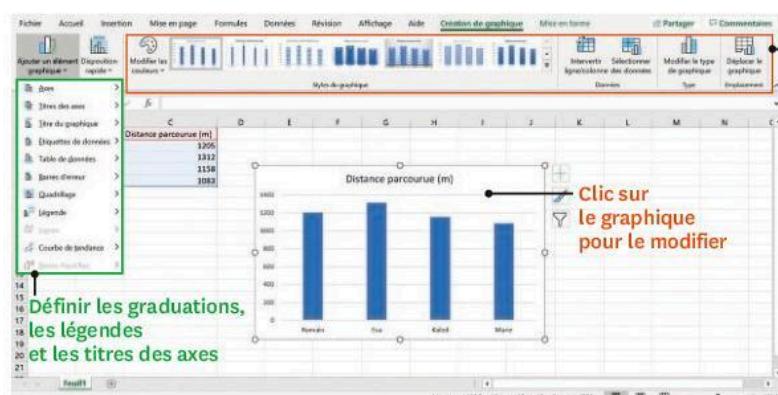
Utiliser le grapheur

Il permet de représenter sous forme graphique des données numériques saisies et sélectionnées dans le tableur. En fonction de leur signification, ces données peuvent être représentées sous forme de diagrammes circulaires, de diagrammes en bâtons, de nuages de points ou de courbes.

Le graphique obtenu peut être inséré sur la feuille de calcul ou être affiché sur une nouvelle feuille.

Un clic droit sur le graphique permettra, par exemple, de :

- modifier le type de graphique ;
- sélectionner des données ;
- changer le format du quadrillage et/ou des axes ;
- importer une image.



Options de modifications du graphique



- Je n'oublie pas de mettre un titre au graphique.
- Je n'oublie pas de mettre un titre et des unités aux axes.
- Si j'ai plusieurs courbes, je n'oublie pas de les légendier.

Rédiger un programme en langage Python

Python est un des nombreux langages de programmation utilisé pour rédiger des programmes informatiques. L'intérêt d'un programme est d'automatiser différentes tâches, à chacune de ces tâches correspond une ligne de code. Les principales sont répertoriées dans le tableau ci-dessous par catégories :

Utiliser des variables pour stocker des informations		Utiliser des boucles	
x = 220	La valeur 220 est attribuée à la variable x	for d in duree	Le compteur d prend successivement toutes les valeurs de la liste.
Pour afficher quelque chose à l'écran		Tracer et afficher des graphiques	
print(" Bonjour ")	Affichage de Bonjour	pyplot.scatter(x,y)	Création d'un nuage de points de coordonnées (x,y) où x correspond à la liste des abscisses et y à la liste des ordonnées.
print(" \ " Bonjour\ ")	Affichage de «Bonjour»	pyplot.axis('equal')	Création d'un repère orthonormé.
print(x)	Affichage du contenu de la variable x.	pyplot.axis([-5, 5, 0, 10])	Définition des valeurs minimales et maximales de chaque axe.
Effectuer des opérations		Créer et exploiter des listes de données	
Vitesse = distance / durée	La variable Vitesse est définie à partir des variables distance et durée.	pyplot.grid(True)	Affichage d'un quadrillage.
Tracer et afficher des graphiques		pyplot.title()	
x = []	Création d'une liste vide, appelée x.	pyplot.title()	Attribution d'un titre au graphique.
duree = [0,0.5,1,1.5,2]	Création d'une liste de 5 valeurs, appelée duree.	pyplot.show()	Affichage du graphique à l'écran tel qu'il a été défini à l'aide des autres fonctions de pyplot, cette instruction doit toujours être appelée en dernier.
len(duree)	Indication du nombre d'éléments de la liste (dans notre exemple : 5).		
duree.append(2.5)	Ajout de la valeur 2,5 aux 5 valeurs de la liste précédente.		

Quelques bibliothèques utiles à installer

- MATH : pour les fonctions de calcul, l'utilisation du nombre pi...
- NUMPY : pour des fonctions mathématiques plus élaborées
- SCIPY.STATS : pour les fonctions statistiques, les régressions linéaires...
- MATPLOTLIB : pour l'affichage graphique.

Les symboles de comparaison

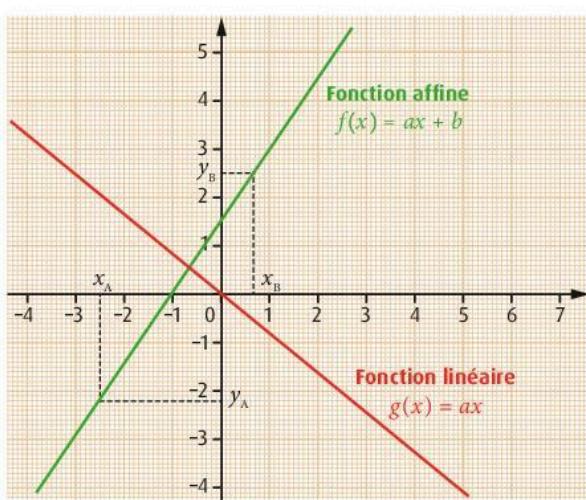
Symboles	Significations
<	Strictement inférieur à
>	Strictement supérieur à
<=	Inférieur ou égal à
>=	Supérieur ou égal à
==	Égal à
!=	Different de

Trucs et astuces

- Le nom du fichier correspondant au programme doit commencer par une minuscule, ne pas comporter d'espace ou de caractère spécial.
- L'indentation (ajout d'une tabulation au début de certaines lignes de code) est primordiale. Par contre, il ne faut pas ajouter d'espace inutile en début de ligne !
- La virgule des nombres décimaux s'écrit avec un point.
- Pour faciliter la compréhension du programme, on peut ajouter un commentaire précédé du symbole «#».

Fonctions affine et régression linéaire

Quelle est la différence entre une fonction affine et une fonction linéaire?



Pour s'en souvenir

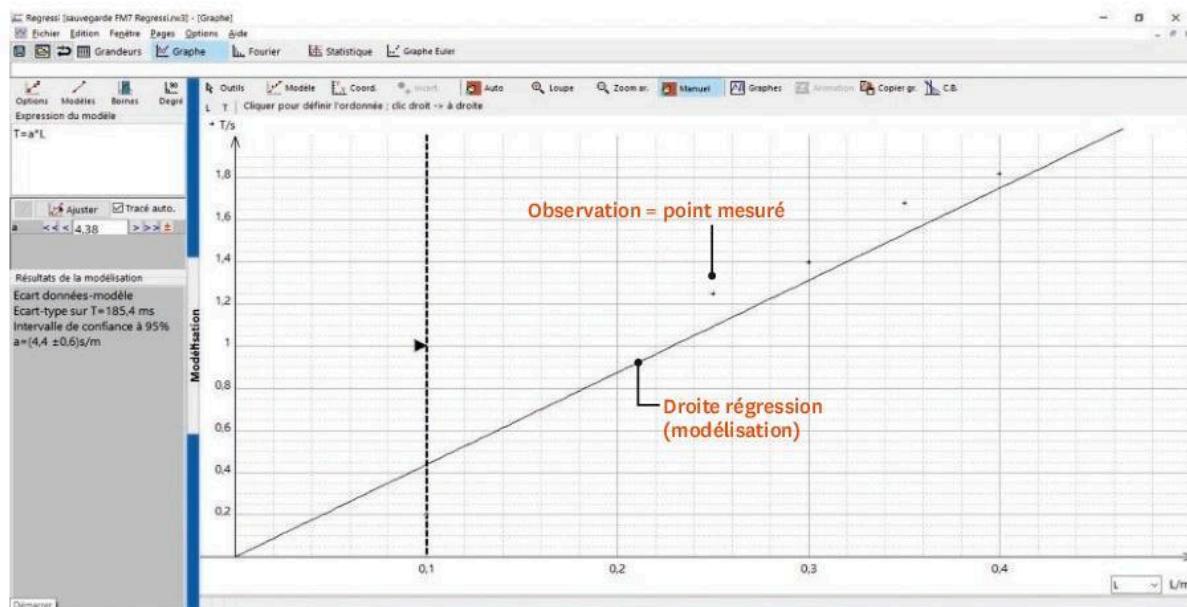
La droite représentant une fonction affine ne passe pas par l'origine du repère.

Coefficient directeur

Également appelé « pente » d'une droite, le coefficient directeur se calcule selon l'équation :

$$a = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$$

En sciences, lorsqu'on réalise une série de mesures, on représente graphiquement le nuage de points correspondant à ces mesures. Par exemple, on peut tracer l'évolution de la période des oscillations d'un pendule en fonction de la longueur du fil. Les points ne sont pas parfaitement alignés, mais, en utilisant la fonction **modélisation** d'un grapheur comme Reginss, on obtient le tracé du modèle mathématique passant par un maximum de points du nuage, c'est une **régession linéaire**.



Comment peut-on vérifier la validité de la modélisation?

- Visuellement:** pour que le modèle soit valable, les points ne doivent pas être trop éloignés de la droite obtenue. On dit que les points sont faiblement dispersés.

- Par le calcul:** le grapheur peut afficher un coefficient de corrélation linéaire.

Il vaut:

0 si les deux variables sont totalement indépendantes

1 si une des variables est une fonction affine croissante de l'autre variable

-1 si une des variables est une fonction affine décroissante de l'autre variable

Corrélation	négative	positive
faible	de -0,5 à 0,0	de 0,0 à 0,5
forte	de -1,0 à -0,5	de 0,5 à 1,0

Fiche Méthode 8

Optimiser les méthodes de résolution des exercices

Conseils méthodologiques

1. Lire attentivement l'énoncé de l'exercice en utilisant un surlieur afin de mettre en évidence toutes les données chiffrées.
2. S'assurer que tous les mots de vocabulaire sont bien compris : s'aider des champs lexicaux, utiliser les définitions qui se trouvent dans certains documents.
3. Écrire au brouillon toutes les formules littérales qui pourraient être utiles à la résolution de l'exercice, préciser les unités et faire les conversions si nécessaire.
4. Repérer les verbes d'action pour répondre correctement aux questions posées :

Pour les chiffres et les calculs		Pour rédiger les réponses	
Verbe d'action	Ce que vous devez faire	Verbe d'action	Ce que vous devez faire
Convertir	Changer l'unité d'une valeur.	Indiquer, Donner	Fournir une information sans la justifier.
Calculer	Utiliser les données fournies et une formule pour calculer la valeur d'une grandeur.	Justifier, montrer	Faire appel à des connaissances afin de montrer que la réponse fournie est juste.
Déterminer graphiquement	Lire la valeur sur un graphique, sans calculer.	Déduire	Utiliser les réponses aux questions précédentes pour fournir une nouvelle réponse.
Évaluer	Calculer ou donner un ordre de grandeur d'une valeur.	Exploiter, identifier	Mettre en relation ses connaissances et les données fournies dans les documents.
Estimer	Donner une valeur approchée ou un ordre de grandeur d'une valeur.	Exprimer	Donner l'expression littérale d'une grandeur sans la calculer.

5. Rédiger une phrase complète pour répondre à chaque question et penser à écrire la formule littérale utilisée avant chaque calcul.

Application à partir d'un exemple

12 Effectuer et contrôler des calculs

Puissance de calcul

Si les codes des modèles climatiques deviennent de plus en plus complexes et les résolutions spatiale et temporelle des modèles augmentent, c'est, entre autres, grâce à l'amélioration des performances des supercalculateurs. La vitesse de calcul d'un calculateur scientifique se mesure en FLOPS: «floating-point operations per second», que l'on traduit par «opérations à virgule flottante par seconde» en français.

1 gigaflops = 10^9 opérations par seconde 1 téraflops = 10^{12} opérations par seconde 1 pétaflops = 10^{15} opérations par seconde

BYOE est une application pédagogique qui présente les résultats pré-enregistrés d'un modèle climatique : FOAM. Dans ce modèle, chaque colonne d'air comporte un emplacement de 18 mailles atmosphériques mesurant 7,5° de longitude par 4,5° de latitude. Le pas de temps est de 20 minutes. Pour simuler 480 ans de climat, le programme doit tourner pendant 24 h.

DOC 1 Evolution de la puissance de calcul théorique de Météo-France depuis 1992.

DOC 2 Maillage dans «Build your Own Earth» (BYOE).

AIDE, p. 62.

QUESTIONS

1. Convertissez la vitesse de calcul du Bull DLC B710 Brod en gigaflops (DOC. 1).
2. Indiquez le facteur de multiplication de la vitesse de calcul sur la période donnée, ainsi que la moyenne d'évolution de ce facteur par an (DOC. 1).
3. Évaluez le nombre et la taille des mailles dans BYOE (DOC. 2).
4. En supposant que le programme doive calculer 20 variables différentes à chaque pas de temps pour

le système atmosphérique, déduisez-en le nombre d'opérations par seconde pour simuler 480 ans (DOC. 2).

5. Imaginons que le programme puisse simuler 480 ans en une minute. Calculez le nombre d'opérations par seconde que cela représente alors. D'après le DOC. 1, nommez le premier supercalculateur qui aurait pu permettre de faire ce calcul. (1 Flop = 1 opération par seconde)

Comprendre les questions

1. **Convertir**: exprimer en gigaflops la valeur de la vitesse lue sur le graphique en pétaflops.
 2. **Indiquer**: lire les informations sur le graphique.
 3. **Évaluer**: utiliser les données numériques et les formules du cours pour calculer.
 4. **En déduire**: utiliser la réponse à la question précédente.
 5. **Calculer**: utiliser les résultats des questions précédentes et les données fournies pour calculer la valeur d'une nouvelle grandeur.
- Nommer**: donner le nom d'un calculateur du **DOC. 1**.

CORRIGÉS DES QCM

CHAPITRE 1

1.

- a. Vrai.
- b. Faux, probablement supérieur à 1200 °C.
- c. Vrai.
- d. Faux, dans ces conditions de T, de pression et en absence d'eau liquide, la vie n'était pas possible.

2.

- a. Faux, l'étude des zircons de Jack Hills montre que de l'eau liquide devait déjà être présente.
- b. Vrai, à 99 %.
- c. Faux, au moins une partie formait déjà une croûte solide.
- d. Vrai, compte tenu de la concentration en dioxyde de carbone de l'atmosphère.

3.

- a. Vrai.
- b. Faux, l'atmosphère initiale était riche en eau et CO₂.
- c. Faux, la concentration en O₂ atmosphérique a augmenté à partir de -2,4 Ga.
- d. Vrai.

4.

- a. Vrai, du fait de l'absorption du rayonnement par les gaz atmosphériques.
- b. Vrai. Le dioxygène forme l'ozone sous l'action du rayonnement solaire.
- c. Faux, la concentration maximale est atteinte à environ 30 km d'altitude, dans la stratosphère.
- d. Faux, elle protège la surface terrestre des UV les plus énergétiques, comme les UV-C.

5.

- a. Faux, les roches carbonatées ou l'océan sont des réservoirs bien plus importants.
- b. Vrai autour de 700 GtC.
- c. Faux, elle est responsable de la diminution du CO₂ atmosphérique qui permet la formation du CaCO₃ (calcaire ou carbonate de calcium) par exemple.
- d. Vrai, par exemple pour le réservoir des roches carbonées (combustibles fossiles) ou celui des roches carbonatées (utilisées pour la fabrication de ciment ou les pierres de construction).

6.

- a. Vrai, ils constituent le cycle naturel (c'est-à-dire hors impacts anthropiques) du carbone.
- b. Faux, ils en rejettent autant qu'ils en absorbent (hors impacts anthropiques).
- c. Vrai.

- d. Vrai, pour rappel, le cycle naturel ne prend pas en compte les activités humaines.

7.

- a. Vrai.
- b. Faux, les cyanobactéries ont contribué à enrichir l'atmosphère terrestre en O₂, mais cette courbe ne permet pas de le voir.

c. Vrai.

- d. Faux, la concentration en O₂ atmosphérique il y a 2 Ga était d'environ 10 % de la concentration actuelle.

8.

- a. Vrai.
- b. Vrai.
- c. Faux, il est fondé sur l'observation et l'analyse de phénomènes ayant lieu actuellement sur Terre.
- d. Faux, les conditions physico-chimiques étaient différentes.

CHAPITRE 2

1.

- a. Faux, la climatologie repose sur les moyennes spatiale et temporelle de données météorologiques.
- b. Faux, la différence entre météorologie et climatologie repose sur les échelles de temps et d'espace.
- c. Vrai.
- d. Faux, la météorologie repose sur des échelles de temps courtes.

2.

- a. Vrai, en fonction de l'absorption dans les infrarouges, on peut conclure si chaque gaz est un GES ou non.
- b. Faux.
- c. Faux.

- d. Vrai, la transmittance est proche de 0 pour ces longueurs d'onde qui sont donc absorbées par le CO₂.

3.

- a. Vrai.
- b. Faux, ce sont des prévisions météorologiques
- c. Vrai

4.

- a. Faux, cela conduirait à diminuer le forçage radiatif.
- b. Vrai, une diminution de l'albédo entraîne un forçage radiatif positif.
- c. Faux, c'est une conséquence d'une augmentation du forçage radiatif, non une cause.

d. Faux.

5.

- a. Faux, la combustion de ressources fossiles n'implique pas ces étapes (par exemple : décomposition par les micro-organismes)

b. Faux, il n'y aurait pas de libération et décomposition de matière organique dans les glaces océaniques composées d'eau.

c. Vrai, la fonte du pergélisol constitue une boucle de rétroaction positive sur la température moyenne du globe.

6.

a. Faux, la fonte des glaces océaniques ne contribue pas directement à la montée des eaux.

b. Vrai, c'est une des deux causes principales de montée des eaux.

c. Faux.

d. Vrai, c'est une des deux causes principales de montée des eaux.

7.

a. Faux, la vapeur d'eau est un gaz à effet de serre important.

b. Vrai. Le rôle de la vapeur d'eau est complexe car c'est à la fois un GES (rétroaction positive) mais sous forme de nuages, la vapeur d'eau augmente l'albédo terrestre, ce qui entraîne une rétroaction négative sur la température.

c. Faux.

d. Faux.

d. Faux.

5.

a. Faux, la fabrication de ciments produit du CO₂.

b. Faux, les véhicules comme les voitures thermiques émettent surtout CO₂ et N₂O.

c. Vrai, il y a aussi les activités agricoles qui rejettent du méthane.

d. Faux, ils émettent surtout CO₂ et N₂O.

6.

a. Faux.

b. Vrai, leur traitement est statistique, ce qui conduit à des approximations.

c. Vrai.

d. Vrai, ces approximations sont une des sources de variabilité entre les modèles.

7.

a. Faux, pas uniquement.

b. Faux, ce serait contraire à la démarche scientifique !

c. Vrai, on confronte les résultats du modèle à des données issues de climats du passé.

d. Vrai, on confronte les résultats du modèle à des mesures climatiques actuelles.

8.

a. Faux.

b. Faux, quand la concentration de H⁺ augmente, le pH diminue.

c. Vrai.

d. Faux, c'est la cause de la diminution du pH.

9.

a. Faux.

b. Vrai, la production agricole émet principalement N₂O et CH₄.

c. Faux.

d. Faux.

10.

a. Vrai.

b. Faux, on observe une élévation du niveau océanique suite au réchauffement climatique.

c. Faux, car le CO₂ est un réactif de la photosynthèse. Une augmentation de CO₂ tend donc à favoriser la photosynthèse.

d. Faux, les modèles s'accordent à prédire une augmentation de la fréquence des événements météorologiques extrêmes, comme les cyclones.

CHAPITRE 3

1.

a. Faux, bien que certaines lois de la physique soient utilisées à la fois dans les modèles météorologiques et climatiques, ces modèles sont très différents.

b. Vrai.

c. Vrai.

d. Faux, la résolution spatiale est généralement de l'ordre de la centaine de km.

2.

a. Vrai.

b. Faux, les modélisations climatiques sont limitées par la puissance de calcul des ordinateurs.

c. Faux.

d. Vrai.

3.

a. Faux, l'océan est un réservoir important de CO₂ dissous.

b. Faux, le CO₂ n'est pas sous forme de bulles de gaz, il est dissous dans l'eau de mer.

c. Vrai, pour rappel, une diminution de pH correspond à une augmentation d'acidité.

d. Faux.

4.

a. Faux.

b. Faux.

c. Vrai, les méridiens divisent la Terre en 360° (longitude) et les parallèles divisent chaque moitié de Terre en 180° (latitude).

CHAPITRE 4

1.

a. Faux, le charbon, pétrole et le gaz naturel.

b. Vrai, leurs réserves s'épuisent au cours du temps.

c. Vrai, ce qui explique leur caractère épaisable.

d. Faux, ils sont la principale source d'énergie primaire utilisée par les humains aujourd'hui.

2.

a. Faux, elle représente une quantité d'énergie.

b. Faux, les watts sont une unité de puissance.

c. Vrai.

d. Faux, l'unité d'énergie est le Wh et non le Watt/heure.

3.

a. Vrai

b. Vrai

c. Faux, beaucoup moins, 1 t de bois correspond à 0,14 tep contre 10 000 tep pour 1 t d'uranium

d. Faux, la combustion complète produit de l'énergie thermique et du CO₂.

4.

a. Vrai.

b. Vrai.

c. Faux, la source d'énergie primaire correspondante est l'uranium.

d. Vrai.

5.

a. Faux, le Wh est une unité d'énergie et non de puissance.

b. Vrai

c. Vrai

d. Faux, le joule est une unité d'énergie et non de puissance.

6.

a. Faux, biomasse + hydraulique + autres = 14 % (en supposant que «Autres» représente des énergies renouvelables)

b. Vrai

c. Vrai

d. Faux, les énergies renouvelables étaient surtout la biomasse.

7.

a. Faux, les particules fines sont d'autant plus nocives que leur diamètre est petit.

b. Faux, la combustion de la biomasse peut par exemple produire des particules fines.

c. Vrai.

d. Faux, elles sont aussi produites par la biomasse, le freinage des pneus, etc.

8.

a. Faux, car de l'énergie fossile a été utilisée pour sa fabrication, son transport et sa commercialisation.

b. Vrai.

c. Vrai.

d. Vrai.

a. Faux, le résultat de l'induction électromagnétique est la création d'un courant électrique à partir d'un champ magnétique variable dans un fil conducteur enroulé.

b. Faux, la bobine n'est pas en rotation.

c. Vrai.

9.

a. Faux.

b. Vrai, l'énergie mécanique est le mouvement de l'aimant, qui, dans une bobine de fil conducteur, entraîne un courant électrique.

c. Faux.

10.

a. Faux.

b. Vrai, on note ce produit $c\omega$, avec c en N·m et en rad·s⁻¹.

c. Faux.

11.

a. Faux

b. Faux

c. Vrai, le rendement se définit par la puissance produite en sortie sur la puissance donnée en entrée.

12.

a. Faux

b. Faux

c. Vrai, un alternateur industriel a un bon rendement, supérieur à 90 %.

13.

a. Faux.

b. Faux.

c. Vrai, le cuivre est un conducteur.

14.

a. Faux.

b. Faux.

c. Vrai, un photon est émis, dont on connaît l'énergie et donc la longueur d'onde. Ce phénomène est observé dans les spectres de raies d'émission.

15.

a. Vrai, on trouve les radiations bleues vers 400 nm et les radiations rouges vers 800 nm.

b. Faux.

c. Vrai, $0,4 = 400 \text{ nm}$ et $0,8 = 800 \text{ nm}$.

16.

a. Faux, un spectre continu serait obtenu par exemple à partir d'un corps chauffé.

b. Vrai, chaque longueur d'onde absorbée apparaît comme une raie noire sur le spectre. C'est un spectre de raies d'absorption.

c. Faux.

17.

a. Faux, les électrons ne sont pas perdus par le matériau.

b. Faux.

CHAPITRE 5

1.

c. Vrai, en franchissant la bande interdite, les électrons passent de la bande de valence (niveau d'énergie fondamental) à la bande de conduction (niveaux d'énergie excités).

11.

- a. Faux.
 - b. Vrai, c'est l'effet photovoltaïque.
 - c. Faux.
- 12.**
- a. Faux.
 - b. Vrai, c'est la loi d'Ohm $U = R \cdot I$.
 - c. Faux.

CHAPITRE 6**1.**

- a. Faux.
- b. Faux.
- c. Vrai, c'est l'ordre de grandeur de la puissance fournie par une tranche de centrale nucléaire (c'est-à-dire un réacteur de la centrale).

c. Faux.

2.

- a. Faux.
- b. Vrai, c'est l'ordre de grandeur pour les grandes éoliennes qui peuvent fournir jusqu'à 5 MW.

c. Faux.

d. Faux.

3.

- a. Faux.
- b. Vrai, les piles à H₂ font partie des piles dites à combustible. Ce n'est pas une combustion comme la combustion des énergies fossiles, mais on parle de «combustion électrochimique» de H₂.

c. Faux.

d. Faux.

4.

- a. Faux, attention il ne faut pas confondre fusion et fission nucléaire.

b. Faux.

- c. Vrai, comme dans toute centrale thermique, dans une centrale nucléaire, de la vapeur d'eau en se refroidissant entraîne une turbine et un alternateur (machine thermique du circuit secondaire).

- d. Vrai, la fission de l'uranium 235 libère l'énergie permettant de transformer l'eau en vapeur d'eau (circuit primaire).

5.

- a. Faux.
- b. Faux.
- c. Faux.

d. Vrai, sans source d'eau froide, la machine thermique ne peut pas fonctionner. C'est le refroidissement de la vapeur d'eau grâce à la source froide qui permet d'entraîner la turbine.

6.

- a. Vrai, l'induction électromagnétique (chapitre 5) est la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique, ce qui se passe dans une machine thermique.
- b. Faux, l'effet Joule représente la dissipation d'énergie.
- c. Faux, cet effet est à la base des panneaux solaires.
- d. Faux, cette conversion a lieu dans les piles et batteries.

7.

- a. Faux, l'énergie cinétique (donc mécanique) du vent est convertie en électricité.
- b. Vrai, son principe de fonctionnement repose sur l'effet photovoltaïque.
- c. Faux, son principe repose sur une machine thermique.
- d. Faux, son principe repose sur une machine thermique.

8.

- a. Vrai, $0,65 \times 0,97 \times 0,99 = 0,62$, soit 62%.
- b. Faux.
- c. Faux.
- d. Faux.

9.

- a. Faux, par exemple l'extraction de lithium pour les pimes Li-ion a des conséquences environnementales importantes en Amérique du Sud.
- b. Vrai, par exemple, lors de la décomposition de la matière organique dans les eaux des barrages.
- c. Faux.
- d. Vrai, c'est le cas par exemple des barrages.

CHAPITRE 7**1.**

- a. Faux, le courant sur chaque ligne est le plus souvent différent.
- b. Faux.
- c. Vrai, c'est la loi des noeuds.
- d. Vrai, car il est précisé dans l'énoncé de la question que le réseau est sous une tension constante.

2.

- a. Vrai, la résistance est proportionnelle à la résistivité, donc on cherche à réduire la résistivité pour réduire la résistance et donc les pertes par effet Joule.
- b. Faux
- c. Vrai, souvent les câbles électriques possèdent une «âme» pour assurer leurs propriétés mécaniques (voir doc. 4 p. 156).
- d. Faux, dans l'idéal, ce ne serait pas une mauvaise idée, mais dans les faits, ce n'est pas un critère déterminant pour le choix du matériau d'une ligne électrique.

3.

- a. Vrai, car il y a des pertes ohmiques (effet Joule) lors du transport sur les lignes électriques.
- b. Faux.
- c. Vrai, à cause des pertes ohmiques, les intensités i_2 et i_3 transportées sont inférieures ou égales à s_2 .
- d. Faux, i_3 et i_4 ne proviennent pas de la même source.

4.

- a. Vrai, d'après la loi des nœuds qui s'applique au nœud intermédiaire N_1 .
- b. Vrai, puisque $i_1 + i_2 = i_5 + i_6$ d'après la loi des nœuds, on a donc $i_1 + i_2 \geq i_5$.
- c. Faux, d'après la loi des nœuds, les intensités entrantes au nœud N_2 équivalent les intensités sortantes.
- d. Faux, ces deux intensités ne proviennent pas de la même source, il n'y a pas de raison qu'elles soient égales.

5.

- a. Vrai.
- b. Faux, c_3 reçoit des intensités de courant issues de deux sources.
- c. Vrai.
- d. Faux, c_4 reçoit des intensités de courant issues de deux sources.

6.

- a. Faux.
- b. Vrai, la résistivité s'exprime en $\Omega \cdot m$.
- c. Faux.
- d. Faux.

7.

- a. Faux
- b. Vrai, c'est cette approximation qui permet de raisonner sur les intensités puisque si U est constante, P et I sont deux grandeurs proportionnelles.
- c. Faux, par exemple les puissances émises par les sources sont souvent différentes.
- d. Faux, les pertes dépendent de la résistance et de l'intensité de chaque fil électrique.

8.

- a. Vrai, cela permet de réduire la puissance dissipée par effet Joule ($R \cdot I^2$).
- b. Faux, les pertes par effet Joule seraient très importantes !
- c. Faux, la résistance d'un fil électrique augmente les pertes par effet Joule ($R \cdot I^2$).

c. Vrai, il n'y a pas d'émission de CO₂ lors du fonctionnement d'une centrale nucléaire (mais attention, cela ne veut pas dire que le bilan carbone est nul, il faut prendre en compte la construction, le démantèlement...).

d. Vrai, les rares accidents nucléaires civils sont responsables de mort par irradiation. Une mauvaise gestion des déchets peut mener à une élévation de l'exposition à la radioactivité.

2.

a. Vrai, la production est intermittente car la vitesse du vent est variable.

b. Vrai.

c. Faux, la construction des éoliennes et la nécessité d'avoir des sources d'énergie complémentaire (généralement fossiles) explique le bilan carbone des éoliennes

d. Vrai, nuisances sonores, altération du paysage, mortalité accrue des oiseaux...

3.

a. Faux

b. Faux

c. Faux

d. Vrai, l'ordre de grandeur est de quelques milliards d'euros pour une ligne LGV.

4.

a. Faux, il n'est pas nul car il faut compter la fabrication et la collecte des trottinettes pour la recharge.

b. Faux, l'utilisation au sens strict ne produit pas de GES. En revanche la collecte en voiture pour les recharger, oui.

c. Vrai.

d. Vrai, voir doc. 4 p. 178.

5.

a. Vrai

b. Vrai

c. Vrai

d. Faux

6.

a. Vrai, car la production d'énergie électrique utilise des combustibles fossiles en Allemagne

b. Vrai

c. Faux, son prix, son bilan carbone les premières années et le recyclage des batteries

d. Faux, la généralisation des voitures électriques contribuera à l'amélioration de la qualité de l'air dans les villes.

7.

a. Vrai.

b. Faux, c'est une priorité beaucoup plus récente.

c. Vrai.

d. Faux, si les modes de production sont modifiés, ce sont nos comportements qui sont responsables de la consommation énergétique.

CHAPITRE 8

1.

- a. Faux, l'uranium, le combustible de l'énergie nucléaire, est une ressource épuisable
- b. Vrai, l'énergie nucléaire couvre environ 72 % des besoins en France.

8.

- a. Vrai, le bilan carbone est réduit lorsque le nombre de passagers transportés par train augmente.
- b. Faux, sa fabrication notamment émet des GES.
- c. Vrai
- d. Faux, la voiture est le moyen de transport privilégié en dehors des centres urbains.

9.

- a. Vrai, voir doc. 2 p. 174.
- b. Faux, la production électrique éolienne est intermittente.
- c. Vrai.
- d. Faux, l'éolienne produit un courant alternatif qui peut être relié au réseau électrique (voir chapitre 6).

CHAPITRE 9

1.

- a. Faux, c'est l'abondance.
- b. Faux, c'est le nombre de populations (ou espèces) pour un milieu donné.
- c. Vrai.
- d. Faux.

2.

- a. Vrai.
- b. Faux.
- c. Faux, c'est la richesse spécifique d'un milieu.
- d. Faux.

3.

- a. Vrai, pour cela on fait un certains nombre d'hypothèses (par exemple, il ne faut pas que le marquage affecte la survie des individus marqués).
- b. Faux.
- c. Faux, les proportions d'individus marqués et non marqués sont différentes.
- d. Faux, les individus sont marqués lors de la première capture.

4.

- a. Faux, l'ADN environnemental se dégrade, plus ou moins rapidement selon les conditions du milieu (température, humidité...)
- b. Vrai, la dégradation est plus rapide en milieu aquatique (en quelques jours).
- c. Vrai.
- d. Vrai, il est très utilisé en compléments de méthodes d'observations ou pour détecter des espèces difficiles à observer.

5.

- a. Faux, elles sont constantes d'une génération à l'autre
- b. Faux, elle est prévisible par le calcul.
- c. Vrai.
- d. Faux, les fréquences génotypiques sont aussi stables après une génération.

6.

- a. Faux, la dérive modifie la diversité génétique mais ne l'enrichit pas (l'appauvrit éventuellement)
- b. Vrai, le plus souvent des allèles disparaissent ce qui appauvrit génétiquement la population.
- c. Faux, la dérive génétique modifie les fréquences alléliques.
- d. Faux, la diversité génétique est réduite par dérive génétique.

7.

- a. Faux, c'est une conséquence possible mais pas l'objectif initial.
- b. Vrai.
- c. Vrai.
- d. Faux, le but est de réduire la dérive génétique en réduisant la fragmentation des populations.

CHAPITRE 10

1.

- a. Faux, l'évolution a lieu à différentes échelles de temps (de l'ordre du jour ou de la semaine pour des micro-organismes dans une boîte de culture par exemple).
- b. Faux, c'est une variation qui apparaît par hasard.
- c. Vrai.

2.

- a. Faux, c'est incomplet, si les variations sont apparues par hasard, cela ne suffit pas à expliquer les similitudes. Ce sont des pressions de sélection identiques du milieu qui expliquent ces similitudes (convergence évolutive).
- b. Vrai.
- c. Faux, c'est la sélection naturelle qui est en jeu.

3.

- a. Faux, l'évolution n'est pas linéaire: on ne va pas du plus «simple» au plus «complexe».
- b. Faux, l'évolution n'est pas linéaire: on ne va pas du plus «simple» au plus «complexe».
- c. Vrai, c'est le cas de l'acquisition de certaines structures comme une lentille.
- d. Faux.

4.

- a. Faux, l'évolution n'est pas linéaire: on ne va pas du plus «simple» au plus «complexe».
- b. Vrai.
- c. Faux, cela n'a pas de sens de dire qu'une espèce «est plus évoluée» qu'une autre.

5.

- a. Vrai.
- b. Faux, les antibiotiques sélectionnent une résistance déjà apparue, ils ne favorisent pas l'apparition.
- c. Faux, il n'y a pas de «transformation» mais une sélection des bactéries déjà résistantes.

d. Faux, il n'y a pas de « transformation » mais une sélection des bactéries déjà résistantes.

6.

a. Faux, pas d'allaitement par les mammifères mâles.

b. Vrai.

c. Faux, toutes les structures ne sont pas forcément en parfaite adéquation avec une fonction.

7.

a. Vrai.

b. Vrai, la faible diversité génétique rend les plantes plus vulnérables aux bioagresseurs (si un individu est sensible, tous le sont).

c. Faux.

CHAPITRE 11

1.

a. Vrai, car elles partagent des caractères dérivés.

b. Vrai, les propositions a et b disent la même chose de deux façons différentes.

c. Faux, cela ne dépend pas de la nature des caractères.

2.

a. Faux, ils ont le même pourcentage de différence dans la séquence protéique dans les deux cas (2,64 %)

b. Vrai, 3,08 % de différence dans la séquence de la protéine avec le gorille contre 11,9 % avec le macaque.

c. Vrai, , 2,64 % de différence dans la séquence de la protéine avec le bonobo contre 3,08 % avec le gorille.

3.

a. Faux.

b. Faux.

c. Vrai, elles n'ont que 0,881 % de différences dans la séquence protéique étudiée, valeur la plus faible du tableau.

4.

a. Vrai.

b. Faux, on peut avoir indifféremment le bonobo ou le chimpanzé commun en B et en C.

c. Faux, le chimpanzé est plus proche du bonobo que du gorille.

5.

a. Faux, c'est l'inverse: leur ancêtre commun sera plus proche dans le passé.

b. Vrai.

c. Faux.

6.

a. Faux.

b. Faux.

c. Vrai, car ce sont les deux espèces les plus proches donc leur ancêtre commun est plus récent.

CHAPITRE 12

1.

a. Faux, $u(n+1) - u(n)$ est une constante.

b. Faux, c'est le cas pour une suite géométrique.

c. Vrai.

d. Faux, $u(n+1) = u(n-1) + 2r$.

2.

a. Vrai.

b. Faux, par une droite (ou fonction affine).

c. Faux, c'est le cas du modèle exponentiel.

d. Faux, les populations ont le plus souvent des croissances de type exponentiel (temporairement et en l'absence de frein).

3.

a. Faux, c'est le cas d'une suite arithmétique, dans une suite géométrique $u(n+1) - u(n)$ est proportionnelle à la valeur courante $u(n)$.

b. Vrai, c'est le taux de variation.

c. Faux, ils sont situés sur une courbe exponentielle.

d. Vrai.

4.

a. Faux, il considère qu'elles ont une croissance géométrique (doublement de la population tous les 25 ans).

b. Vrai.

c. Vrai

d. Faux, la population mondiale a été multipliée par huit depuis Malthus, et la production alimentaire d'un facteur plus élevé

5.

a. Vrai.

b. Faux, la différence entre le taux de natalité et le taux de mortalité définit le taux d'accroissement, si ce taux est positif, alors la population augmente

c. Faux, dans ce cas les effectifs tendent vers zéro.

d. Faux, dans ce cas les effectifs tendent vers zéro.

6.

a. Vrai, on peut modéliser les points de B par une fonction affine.

b. Faux, A ne peut pas être décrit par un modèle exponentiel.

c. Faux, B est plutôt décrit par un modèle linéaire.

d. Vrai, un modèle strictement exponentiel ou linéaire ne permet pas de décrire la courbe A.

CHAPITRE 13

1.

a. Faux, une vidéo prend plus de place en mémoire qu'une photo de même résolution.

b. Vrai, une vidéo prend plus de place en mémoire qu'une page de texte.

c. Faux, la vidéo prend plus de place en mémoire qu'un son de même durée.

d. Vrai.

2.

a. Faux, la qualité et la quantité des données d'entrée sont importantes pour garantir la qualité des résultats en sortie.

b. Faux, même justification que pour a.

c. Vrai.

d. Faux, on ne pourra pas obtenir des données en sortie de bonne qualité si on ne contrôle pas les données d'entrée.

3.

a. Vrai, car le coefficient de détermination est le plus élevé et la surface de régression modélise bien le nuage de points.

b. Faux, visuellement, le modèle semble bien décrire le nuage de points, mais R^2 est inférieur à la valeur de le modèle a.

c. Faux, R^2 faible et visuellement, le modèle n'est pas proche des données.

4.

a. Vrai.

b. Faux, ce programme est exécutable seulement sous Windows grâce à un interpréteur présent dans le système d'exploitation: cmd.exe.

c. Faux, .exe est l'extension d'un exécutable.

d. Faux, les fichiers exécutables peuvent comporter des risques. Il est important de s'assurer de la provenance d'un fichier exécutable.

5.

a. Faux.

b. Vrai, on ne peut pas diviser par 0.

c. Faux.

d. Faux.

6.

a. Faux, puisqu'il existe des faux négatifs.

b. Vrai.

c. Vrai, le tableau de contingence montre que le test est imparfait, ce qui permet de prendre en compte les erreurs de la procédure de reconnaissance.

d. Faux, ce sont des faux négatifs. Il y a 30 faux positifs.

7.

a. Vrai, s'il y a des biais dans les données d'entrée, ils peuvent être amplifiés en sortie.

b. Vrai, par les biais qui sont amplifiés ou par l'utilisation des données personnelles pour l'entraînement des modèles.

c. Faux, l'utilisation des données personnelles est encadrée, notamment par la réglementation de l'Union européenne RGPD entrée en vigueur en 2018.

d. Vrai, par reconnaissance de similitudes ou de corrélations, le modèle peut ensuite prédire des variables en sortie.

GLOSSAIRE

A

Abondance (fém.): Nombre d'individus au sein d'une espèce.

Adaptation (fém.): Ensemble des actions permettant à l'humanité de s'adapter au changement climatique qu'elle subit et subira encore pendant de nombreuses décennies.

Adventice (adj.): Se dit des plantes indésirables dans les cultures.

Aire protégée (fém.): Espace géographique défini, géré afin d'assurer la protection d'un habitat et des espèces qui y résident.

Albédo (masc.): Proportion de lumière renvoyée par un corps qui est éclairé (entre 0 et 100 %). L'albédo moyen de la Terre est de 30 % environ.

Allèle (masc.): Version d'un gène. Un même gène possède de nombreux allèles qui diffèrent par des mutations. Les allèles sont à la base de la biodiversité génétique.

Alternateur (masc.): Machine électrique tournante produisant de l'électricité à partir d'un mouvement de rotation grâce à l'induction électromagnétique. Les alternateurs sont quant à eux utilisés dans les centrales de production afin de fournir de l'énergie électrique sous forme de courant alternatif, utilisé au niveau industriel ou domestique.

Analyse du cycle de vie (fém.): Émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre liées à l'ensemble des aspects de la vie d'un objet ou d'une activité. Dans le cas d'un objet, cela inclut les émissions liées à sa fabrication, sa commercialisation, son utilisation et sa destruction.

Apprentissage machine (masc.): Branche de l'IA qui utilise des programmes repérant des corrélations ou des similitudes sur un très grand nombre de données et peuvent, après cet entraînement, prédire des résultats ou prendre des décisions sur d'autres données.

Arbre phylogénétique (masc.): Représentation sous forme d'arbre qui représente les relations de parenté entre des groupes d'êtres vivants.

Atténuation (fém.): Ensemble des actions permettant à l'humanité de diminuer l'ampleur du changement climatique lors des prochaines décennies.

B

Barrages au fil de l'eau (masc.): Barrages hydroélectriques implantés sur le cours de grands fleuves ou de grandes rivières. Ils sont caractérisés par un débit très fort et un dénivelé faible avec une chute de moins de 30 m.

Barrages de type voûte (masc.): Barrages hydroélectriques caractérisés par un débit faible et un dénivelé fort avec une chute de 30 à plus de 300 m. Le barrage s'oppose à l'écoulement naturel de l'eau pour former un lac de retenue.

Batterie (fém.): Aussi appelée accumulateur. Appareil qui stocke l'énergie électrique en énergie chimique lors de la charge et la restitue lors de la décharge.

Bioagresseur (masc.): En agriculture, ce terme désigne un animal nuisible pour les cultures.

Biodiversité des écosystèmes (fém.): Diversité des milieux de vie observables sur Terre, incluent les espèces qui les habitent et les relations entre ces espèces.

Biodiversité génétique (fém.): Diversité des allèles observables au sein d'une même espèce ou d'une population de cette espèce. La biodiversité génétique se mesure par le nombre d'allèles existant pour chaque gène et par la fréquence de ces allèles.

Biodiversité spécifique (fém.): Diversité des espèces observables sur Terre.

Biomasse (fém.): Matière organique produite par un être vivant.

Bug (masc.): Erreur dans un programme entraînant un comportement inattendu lors de l'utilisation du programme.

C

Caractère dérivé (masc.): Un caractère peut se présenter sous deux états. Par exemple, le caractère « pouce » peut être sous l'état « pouce non opposable » ou « pouce opposable ». L'un de ces deux états dérive de l'autre. C'est l'état « dérivé ». L'autre état est dit « ancestral ». Seuls les états dérivés des caractères témoignent d'une parenté.

Cellule (fém.): Unité de base de tous les êtres vivants. Elle est délimitée par une membrane plasmique, contient du matériel génétique et possède un métabolisme. Dans les cellules eucaryotes, le matériel génétique est localisé au sein d'un compartiment appelé noyau.

Cellule photovoltaïque (fém.): La cellule photovoltaïque est le composant électronique semi-conducteur qui compose un panneau solaire photovoltaïque et qui, exposé à la lumière, produit de l'électricité (d'après edfenr.com)

Centrale électrique (fém.): Site industriel destiné à la production d'électricité.

Centre de dispatching (masc.): Centre de répartition de l'électricité permettant d'adapter en temps réel la production et la distribution d'électricité à la demande des utilisateurs.

Climatologie (masc.): Étudie les variations du climat local ou global à moyen ou long terme (années, siècles, millénaires). Un climat est ainsi défini par les moyennes des grandeurs atmosphériques observées dans une région donnée pendant une période donnée.

Climatoscepticisme (masc.): Mouvement remettant en cause le consensus scientifique sur l'origine humaine du réchauffement climatique et sur les conséquences prédictes par les modélisations.

Combustible fossile (masc.): Combustible issu de la dégradation et de l'enfouissement de la matière organique d'êtres vivants photosynthétiques. Pétrole, charbon et gaz sont des combustibles fossiles. L'énergie est particulièrement concentrée dans les combustibles fossiles. Elle est issue de l'énergie lumineuse qui a permis la production de biomasse des organismes photosynthétiques.

Contrainte phylogénétique (ou historique) (fém.): Résultat de l'histoire évolutive qui applique une pression sur un caractère anatomique.

Contrainte structurale (fém.): Contrainte mécanique qui s'exerce lors du développement et de l'établissement de connexions anatomiques.

Controverse scientifique (fém.): Débat au sein de la communauté scientifique qui voit s'affronter plusieurs modèles, théories ou interprétations scientifiques. Exemples de controverse scientifique : controverse entre les tenants du modèle géocentrique et les tenants du modèle héliocentrique du xvie au xviii^e siècle; controverse entre Charles Darwin et Lord Kelvin sur l'âge de la Terre dans la seconde moitié du xix^e siècle. Certaines controverses scientifiques ont pu être alimentée par des arguments non scientifiques (de nature religieuse notamment).

Convection (fém.): Transfert d'énergie thermique accompagné de mouvements de matière.

Corps noir (masc.): Objet qui absorbe toute la lumière qu'il reçoit.

Couche d'ozone (fém.): Partie de la stratosphère comportant une concentration plus importante d'ozone.

Couple mécanique (masc.): Effort mécanique de rotation appliquée à un axe. Il s'exprime en N · m.

D

Démarche scientifique (fém.): Une démarche scientifique implique: (1) un scepticisme initial sur les faits et non pas des convictions déjà forgées; (2) de s'intéresser à des choses qui existent indépendamment de nous; la science n'étudie que des objets qui existent matériellement, indépendamment de notre perception; (3) un raisonnement logique; (4) d'utiliser des procédures transparentes, permettant notamment à la communauté scientifique de vérifier la reproductibilité des résultats; (5) de prendre en compte toutes les données pertinentes disponibles.

Demi-vie $t_{1/2}$ (fém.): Temps au bout duquel la moitié des noyaux d'un élément radioactif se sont désintégrés.

Dérive génétique (fém.): Variation aléatoire de la fréquence des allèles dans une population. Elle est surtout la conséquence de la reproduction sexuée : d'une génération à la suivante, seuls certains allèles sont transmis des parents aux descendants.

Désintégration radioactive (fém.): Désintégration d'un noyau instable (appartenant à un élément père) en un autre noyau (appartenant à un élément fils), qui peut être stable ou non. Pendant la désintégration, les noyaux instables émettent un rayonnement plus ou moins énergétique (radioactivité).

Dilatation thermique (fém.): Une masse d'eau occupe plus

de volume lorsque sa température augmente. Ce phénomène contribue à la montée du niveau océanique, tout comme la fusion des glaces continentales.

Diversité génétique (ou allélique) (fém.): Différence génétique entre des individus de la même espèce. La diversité génétique se mesure par le nombre d'allèles différents existant pour chaque gène et par la fréquence de ces différents allèles.

Domestication (fém.): En agriculture, sélection par les humains des caractères qui les intéressent pour produire les plantes ou animaux de la génération suivante.

E

Écosystème (masc.): Ensemble constitué d'un milieu de vie, des êtres vivants qui le peuplent et des relations entre eux.

Effet de serre (masc.): Échange continual d'énergie sous forme de rayonnement thermique infrarouge entre le sol terrestre et l'atmosphère.

Effet Joule (fém.): Puissance dissipée sous forme de chaleur par un conducteur ohmique.

Électron (masc.): Particule fondamentale ponctuelle (son diamètre est considéré comme nul), d'une masse $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31}$ kg, portant une charge négative $-e$ (e étant la charge élémentaire, c'est-à-dire qu'il n'en existe pas de plus petite) = $-1,602 \cdot 10^{-19}$ coulomb (d'après cnrs.fr).

Élément fils (n.m): Voir « désintégration radioactive ».

Élément père (n.m): Voir « désintégration radioactive ».

Empreinte carbone (fém.): Émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre liées soit à l'utilisation d'un objet ou à la réalisation d'une activité, soit à un individu, une ville, un pays, etc.

Énergie nucléaire (fém.): Énergie tirée de la fission d'atomes tels que l'uranium 235 (²³⁵U) ou le plutonium 239 (²³⁹Pu).

Énergie primaire (fém.): Énergie disponible dans l'environnement et directement exploitabile sans transformation.

Énergie renouvelable (fém.): Énergie qui, à l'échelle humaine, se renouvelle et est disponible en grande quantité. Cela correspond à l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, la biomasse et la géothermie.

Équilibre radiatif (masc.): Équilibre atteint lorsque la puissance reçue par la surface de la Terre équivaut à celle qu'elle émet.

Évolution (fém.): Modification des êtres vivants au cours du temps sous l'effet conjugué de la sélection naturelle et de la dérive génétique ?

Extinction (fém.): Disparition d'une espèce constatée par l'absence d'observations de ses individus.

F

Fichier exécutable (masc.): Fichier qui contient le programme sous une forme qui peut être traduite en instructions spécifiques à chaque type de processeur.

Fission nucléaire (fém.): La fission nucléaire produit, à partir d'un seul élément, plusieurs éléments plus légers.

Fluctuation d'échantillonnage (fém.): Le fait qu'une proportion observée varie d'un échantillon à l'autre.

Flux de carbone (masc.): Masse de carbone transférée par unité de temps d'un réservoir de carbone à un autre.

Fongicide: Pesticide utilisé contre les champignons nuisibles dans les cultures.

Forçage radiatif (masc.): Différence entre l'énergie radiative reçue et l'énergie radiative renvoyée vers l'espace par la planète.

Force évolutive (fém.): Processus de modification des êtres vivants au cours des générations, par mutation, sélection naturelle, dérive génétique et/ou migration.

Formation de fer rubanée (fém.): Roche constituée de successions de couches claires de silice et de couches rougeâtres d'hématite (oxyde de fer III).

Fréquence allélique: Fréquence des allèles dans une population, sans tenir compte de leur répartition chez les individus.

Fréquence génotypique: Fréquence des génotypes (= combinaison de 2 allèles chez un individu) dans la population.

Fusion nucléaire (fém.): La fusion nucléaire produit, à partir de plusieurs éléments, un élément plus lourd (de nombre de masse A plus grand).

G

Gaz à effet de serre (GES) (masc.): Gaz atmosphérique qui absorbe des longueurs d'onde de l'infra-rouge émises par la surface terrestre à cause de sa température. Les GES principaux de l'atmosphère sont: CO₂, CH₄, N₂O et vapeur d'eau.

Générateur (masc.): Machine électrique tournante produisant de l'électricité à partir d'un mouvement de rotation grâce à l'induction électromagnétique. Les générateurs produisent du courant continu.

Gène (masc.): Portion d'ADN qui détermine un caractère héréditaire.

Génome (masc.): Ensemble des gènes d'un organisme.

Génotype (masc.): Ensemble des allèles présents dans le génome d'un individu.

GIEC (masc.): Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Organisme de l'ONU ayant pour but d'évaluer les conséquences du réchauffement climatique d'origine humaine.

Glace continentale (fém.): Glace formée sur les continents à partir des précipitations (glaciers continentaux, calottes glaciaires).

Grand cercle (masc.): Cercle tracé sur la sphère terrestre ayant le même centre qu'elle (l'équateur est un exemple de grand cercle).

Grandeur atmosphérique (fém.): Principalement la température, la pression, le degré d'hygrométrie, la pluviométrie,

la nébulosité (couverture nuageuse), la vitesse et la direction des vents.

Graphé (masc.): Modèle mathématique utilisé, entre autres, pour modéliser un réseau de transport électrique.

H

Hardy-Weinberg (équilibre de) (masc.): Modèle déterminant que la structure génétique d'une population de grand effectif est stable d'une génération à l'autre sous certaines conditions (pas de forces évolutives en jeu).

Herbicide (masc.): Pesticide utilisée dans les cultures contre les plantes indésirables (adventices).

Hominines (masc.): Le groupe des hominines rassemble l'être humain actuel et toutes les espèces fossiles plus proches parentes des humains que des chimpanzés. Synonyme: lignée humaine.

I

Immunofluorescence (fém.): Technique qui permet de localiser et de suivre une molécule donnée grâce à un anticorps spécifique de cette molécule couplé à une substance fluorescente.

Indicateur du climat (masc.): Indice observable et mesurable qui donne des indications sur les climats passés ou actuels.

Induction électromagnétique (fém.): Phénomène physique conduisant à l'apparition d'une tension électrique à partir du mouvement d'un aimant dans une bobine de fil conducteur.

Inférence bayésienne (fém.): Méthode de calcul de probabilités de causes à partir des probabilités de leurs effets.

Informatique embarquée (fém.): Appareils de la vie courante dont le fonctionnement repose sur un ou plusieurs programmes informatiques.

Insecticide (masc.): Pesticide utilisé contre les insectes nuisibles des cultures (bioagresseurs).

Intelligence artificielle (fém.): Ensemble de théories et de techniques qui traite de problèmes dont la résolution fait normalement appel à l'intelligence humaine.

J

Joule (effet): Conversion de l'énergie électrique en énergie thermique par un conducteur ohmique (résistance).

L

Latitude (fém.): Angle entre l'équateur et un autre parallèle.

Lignée humaine (fém.): Voir hominines.

Lithium (masc.): Métal alcalin situé dans la première colonne du tableau périodique. Composant essentiel des batteries de type Lithium-ion utilisées dans les appareils mobiles (téléphones portables, ordinateurs...).

Loi de Planck (fém.): Loi selon laquelle le spectre du rayonnement d'un corps noir dépend uniquement de sa température de surface.

Loi de Wien (fém.): Loi portant selon laquelle la longueur d'onde du maximum d'émission du rayonnement d'un corps noir est inversement proportionnelle à sa température de surface.

Lois des nœuds (fém.): Loi physique stipulant que l'intensité entrant dans un nœud d'un circuit électrique est égale à l'intensité sortant de ce nœud.

Longitude (fém.): Angle entre le méridien de Greenwich et un autre parallèle.

M

Machine universelle (fém.): Machine, imaginée par Turing, capable de simuler n'importe quelle machine réalisant un calcul. La configuration nécessaire fait alors partie des données d'entrée.

Maillage d'un réseau électrique (masc.): Ensemble des lignes électriques assurant le transport de l'énergie électrique sur le territoire. On parle de maillage car les nœuds du réseau sont reliés par plusieurs arcs. On dit que le réseau est redondant.

Maille d'un modèle climatologique (fém.): Unité de base du découpage spatial de l'atmosphère dans le modèle considéré.

Masse volumique: (fém.): La masse volumique r d'un corps exprime le rapport entre la masse du corps et son volume, exprimé en ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

Membrane plasmique (fém.): Bicouche de lipides délimitant une cellule. La membrane plasmique contient aussi des protéines.

Méridien (masc.): Demi grand cercle passant par les deux pôles terrestre.

Métabolisme (masc.): Ensemble des transformations chimiques qui se déroulent dans une cellule.

Météorite (fém.): Objet d'origine extra-terrestre qui s'est formé en même temps que les planètes dans le système solaire primitif.

Météorologie (fém.): La météorologie étude des phénomènes atmosphériques à court terme (jours, semaines) sur une région donnée.

Microscope électronique (masc.): Instrument permettant d'observer un objet en le grossissant. Par rapport au microscope optique, le microscope électronique à transmission (MET) remplace les photons par des électrons, et les lentilles en verre par des lentilles électromagnétiques. Lorsque le rayonnement électronique traverse l'échantillon, il est modifié par des phénomènes physiques: réflexion, diffraction, réfraction. Une partie de ce rayonnement est ensuite dirigé vers un écran pour y former une image. La résolution (plus petite distance devant séparer deux points pour qu'ils soient discernables) d'un MET optique est de 0,1 nm. Dans le microscope électronique à balayage (MEB), un faisceau d'électrons balaye l'échantillon qui a été au préalable recouvert d'une fine couche de métal. Cela permet à l'échantillon de réémettre les électrons qui l'atteignent, qui

sont alors captés par un détecteur afin de reconstituer une image 3D de sa surface.

Microscope optique (masc.): Instrument permettant d'observer un objet en le grossissant. Dans le microscope optique, l'échantillon est soumis à un flux de photons provenant d'une source de lumière. Celui-ci passe ensuite par deux séries de lentilles en verre : un objectif et un oculaire, qui vont permettre de former une image dans l'œil humain. La résolution (plus petite distance devant séparer deux points pour qu'ils soient discernables) d'un microscope optique est de 200 nm.

Minéral (masc.): Composé sous forme cristallisée dans une roche.

Mix énergétique (masc.): Ensemble des sources d'énergie primaire utilisées dans un lieu donné (ville, région, pays, continent, planète entière).

Modèle exponentiel (masc.): Modèle dans lequel les variations du phénomène étudié sont modélisées par une suite géométrique.

Modèle global du climat (masc.): Modèle numérique simulant des paramètres climatiques. Combinaison de modèles de l'atmosphère, des océans, des surfaces continentales et des glaces de mer.

Modèle linéaire (masc.): Modèle utilisé pour décrire un phénomène dont la variation absolue d'un palier à l'autre est presque constante.

Molécules organiques (fém.): Molécules riches en carbone, hydrogène, oxygène et azote. Les êtres vivants sont composés essentiellement de matière organique, mais cette dernière se trouve aussi dans des structures non vivantes, sur Terre et ailleurs ans l'Univers.

N-O

Nœud d'un réseau électrique (masc.): Interconnexion entre plusieurs lignes électriques

Numériser: Transformer un signal analogique (exemple: une vibration périodique correspondant à un son) en une suite de 0 et de 1.

Nutriment (masc.): Molécule simple issue le plus souvent de la digestion des aliments, utilisable par les cellules pour leur métabolisme.

Oxydation (fém.): Une oxydation est une transformation chimique dans laquelle le composé oxydé perd un ou des électrons. Dans le cadre du métabolisme, plusieurs oxydations accompagnent la respiration cellulaire et la fermentation.

P

Paléoanthropologie (fém.): Science qui étudie l'histoire de l'évolution humaine à partir d'archives fossiles.

Parallèle (masc.): Cercle formé par l'intersection de la sphère terrestre avec un plan imaginaire perpendiculaire à l'axe de rotation de la Terre.

Particules fines (fém.): Particules de petit diamètre, mélange le plus souvent d'une fraction minérale et d'une fraction organique. Elles sont produites notamment par la combustion du gazole et par les chantiers. Les PM10 et les PM_{2,5} sont des particules fines dont le diamètre est inférieur à 10 et 2,5 micromètres respectivement.

Pergélisol (masc.): Sol qui reste gelé en permanence. On le trouve dans les hautes latitudes (Sibérie, Alaska...) ou dans certaines hautes altitudes. On utilise parfois aussi en français le terme anglais permafrost.

Pesticide (masc.): Substance de synthèse destinée à tuer les bioagresseurs des cultures. On distingue les herbicides contre les plantes indésirables (adventices), les insecticides contre les insectes, les fongicides contre les champignons.

Photon (masc.): Particule élémentaire, de masse et de charge nulle, le photon est l'aspect corpusculaire de la lumière (d'après cnrs.fr).

Photosynthèse (fém.): Ensemble de transformations chimiques qui permettent aux végétaux chlorophylliens de synthétiser de la matière organique (glucides) à partir d'eau, de dioxyde de carbone et d'énergie lumineuse.

Phylogénie (fém.): Science qui étudie les relations de parenté entre des espèces fossiles et actuelles.

PIB (masc.): Produit intérieur brut. Selon l'Insee (Institut national de la statistique et des études économiques), le PIB est égal à la somme des valeurs ajoutées brutes des différents secteurs institutionnels ou des différentes branches d'activité, augmentée des impôts moins les subventions sur les produits.

Pigment photosynthétique (masc.): Composé présent dans les cellules chlorophylliennes qui absorbe certaines longueurs d'ondes des radiations lumineuses. Lors de la photosynthèse l'énergie lumineuse de ces radiations permet la synthèse de molécules organiques (conversion de l'énergie lumineuse).

Pile électrochimique (fém.): Une pile électrochimique est constituée de deux électrodes de nature différente plongeant dans une solution conductrice. Une transformation chimique spontanée entraîne un mouvement d'électrons dans les électrodes reliées par un fil conducteur, à l'origine de la tension aux bornes de la pile. La consommation des réactifs entraîne l'usure de la pile.

Pouvoir énergétique (masc.): Quantité d'énergie libérée lors de la combustion d'un combustible, exprimée en kJ/kg.

Prévalence (fém.): Proportion de personnes malades au sein d'une population.

Primate (masc.): Groupe de mammifères placentaires caractérisés par la possession d'ongles, d'orbites oculaires en avant de la face et de pouces opposables aux autres doigts.

Puissance (fém.): Quantité d'énergie par unité de temps. Son unité est le watt (W).

Productivité primaire nette (fém.): Somme des biomasses, en kg ou en tonnes de carbone, fabriquées par les organismes chlorophylliens en un lieu donné pendant un temps donné.

Puissance (en watts) (fém.): Quotient de l'énergie délivrée par un phénomène (en joules) par la durée du phénomène (en secondes).

Puits de carbone (masc.): Dans le cycle du carbone, un puits de carbone est à l'origine de prélèvements de CO₂ du réservoir atmosphérique.

Q

Quantum (masc.): Énergie d'une particule élémentaire comme un photon.

R

Radioactivité (fém.): Voir «désintégration radioactive».

Rayonnement (masc.): Échange de rayonnement thermique infrarouge. Le corps (chaud) émet des IR et il en reçoit d'autres corps chauds.

Rayonnement thermique infrarouge (masc.): Rayonnement émis dans l'infrarouge par un corps qui reçoit de l'énergie thermique. Le rayonnement thermique infrarouge est fonction de la température du corps.

Réchauffement climatique (actuel) (masc.): Augmentation de la température moyenne globale observée depuis le début du xx^e siècle.

Réseau optimal (masc.): Réseau pour lequel la résistance des lignes et le coût de construction sont réduits.

Réservoir de carbone (masc.): Compartiment terrestre stockant du carbone sous différentes formes moléculaires. Sur Terre, il y a quatre réservoirs de carbone : l'atmosphère, la biosphère, l'hydrosphère et le réservoir géologique (les roches).

Résistivité (fém.): Grandeur qui représente la tendance d'un matériau à résister au passage d'un courant électrique. Désignée usuellement sous le symbole ρ , elle s'exprime en $\Omega \cdot m$.

Résolution spatiale (fém.): Taille des mailles du modèle climatique.

Résolution temporelle (fém.): Durée qui s'écoule entre deux calculs du modèle.

Ressource non renouvelable (fém.): Ressource qui se forme bien plus lentement qu'elle est consommée par les humains.

Rétroaction (fém.): Action en retour d'un phénomène sur la perturbation initiale qui l'a engendré.

Richesse spécifique (fém.): Nombre d'espèces présentes dans un milieu.

Roches carbonatées: Roches formées au fond des océans par sédimentation de restes calcaires (comme CaCO₃: carbonate de calcium) d'algues microscopiques.

Roches carbonées: Roches contenant du carbone en proportion variée, issu de la transformation de la matière organique (ex: charbon, pétrole...).

Rotor (masc.): Partie en mouvement d'un générateur ou d'un alternateur. Il est composé de plusieurs aimants.

S

Sélection naturelle (fém.): Variation non aléatoire de la fréquence des allèles au sein d'une population sous l'effet des pressions exercées par le milieu de vie (un allèle qui confère un avantage reproductif voit sa fréquence augmenter).

Semi-conducteur (masc.): Matériau qui, selon la fréquence d'excitation, peut se comporter comme un isolant ou comme un conducteur.

Sol (masc.): Partie la plus superficielle de l'écorce terrestre. Le sol repose sur la roche mère et sert de support au développement des végétaux et de nombreux autres êtres vivants.

Source de carbone (fém.): Dans le cycle du carbone, une source de carbone est à l'origine d'émissions de CO₂ dans le réservoir atmosphérique.

Spectre d'absorption (masc.): Spectre obtenu après passage de la lumière dans un milieu absorbant certaines longueurs d'ondes. Une longueur d'onde absorbée apparaît sous forme d'une raie noire sur le spectre.

Spectre d'action photosynthétique (masc.): Intensité de la photosynthèse en fonction de la longueur d'onde du rayonnement lumineux.

Spectre de raie d'émission (masc.): Ensemble de raies de couleur émises par un gaz sous faible pression excité par une décharge électrique ou soumis à de fortes températures. Le spectre dépend de l'entité chimique constituant le gaz.

Spectre de rayonnement électromagnétique (masc.): Intensité du rayonnement électromagnétique émis par un corps en fonction de la longueur d'onde.

Spectromètre de masse (masc.): Instrument permettant de séparer différents isotopes et de mesurer leur abondance.

Stator (masc.): Partie fixe d'un générateur ou d'un alternateur. Il est composé de bobinages de fil électrique.

Stratégie prophylactique (fém.): Ensemble de moyens médicaux mis en œuvre pour empêcher l'apparition d'une maladie. Par exemple : des mesures d'hygiène (comme le lavage des mains), la vaccination, etc.

Stratosphère (fém.): Couche de l'atmosphère comprise entre 12 et 50 km d'altitude.

Stromatolithe (fém.): Formation rocheuse calcaire formée par l'activité de bactéries photosynthétiques, les cyanobactéries.

Suite (fém.): Fonction définie sur l'ensemble des nombres entiers naturels et qui prend des valeurs dans l'ensemble des nombres réels. Le terme de rang n de la suite u est noté $u(n)$; $u(n)$ est l'image de l'entier n par la suite u .

Suite arithmétique (fém.): Une suite arithmétique de raison r est une suite dont chaque terme s'obtient en ajoutant r au terme précédent.

Suite géométrique (fém.): Une suite géométrique de raison q est une suite dont chaque terme s'obtient en multipliant le terme précédent par q .

Super-condensateur (masc.): Condensateur (deux électrodes séparées par un isolant) particulier dont les électrodes en carbone poreux permettent un stockage plus important de charges électriques.

T

Taux de croissance (masc.): Taux de natalité - taux mortalité.

Taux de mortalité (masc.): Nombre de décès pour 1 000 habitants (en %).

Taux de natalité (masc.): Nombre de naissances d'enfants pour 1 000 habitants, exprimé en pour mille (en %).

Température moyenne de la Terre (fém.): Moyenne spatiale et temporelle de millions de données collectées dans le monde par des stations météorologiques et des mesures par satellites.

Théorie cellulaire (fém.): Théorie selon laquelle la cellule la cellule est l'unité de base du vivant, tous les êtres vivants sont constitués d'une ou plusieurs cellules et les cellules se forment par division de cellules existantes.

Trait culturel (masc.): Chez les êtres vivants, caractère transmis de manière non génétique, par apprentissage. Chez les humains, la grande diversité de traits culturels est à la base de la grande diversité de cultures.

Transition démographique (fém.): Phase de l'évolution d'une population marquée d'abord par une augmentation de son taux de croissance (baisse de la mortalité), puis par une diminution du taux de croissance (baisse de la natalité). La transition est terminée quand la natalité est stable.

Transition énergétique (fém.): Modification des modes de production et de consommation d'énergie. Elle s'accompagne d'une évolution du mix énergétique.

Turbine (fém.): Élément d'une centrale électrique ou d'une éolienne dont le mouvement entraîne le rotor de l'alternateur.

Ultraviolet (masc.): Rayonnement électromagnétique de longueur d'onde comprise entre 100 et 400 nm. Les ultraviolets sont toxiques pour les êtres vivants. Les plus énergétiques d'entre eux sont filtrés par l'ozone stratosphérique.

Véhicule thermique (masc.): Véhicule fonctionnant grâce à un moteur à explosion. Ce dernier est alimenté dans la très grande majorité des cas par un combustible fossile.

Z

Zircon (masc.): Minéral très résistant, plus vieux matériau terrestre connu à ce jour.

Programme

THÈME 3 – Une histoire du vivant

Histoire, enjeux et débats

- Histoire de l'évolution humaine et découverte de fossiles par les paléontologues.
- La théorie de l'évolution et son application dans différents champs.
- Modèles mathématiques historiques d'accroissement des populations (Malthus, Quetelet, Verhulst) et controverses autour du malthusianisme.
- Histoire de grandes avancées médicales: asepsie (Semmelweis, Pasteur), antibiothérapie (Fleming), vaccination (Jenner, Koch, Pasteur), radiologie (Röntgen), greffe, chimiothérapie...
- Biodiversité et impacts des actions humaines.
- Histoire du traitement de l'information : de l'invention de l'écriture aux machines programmables (Jacquard, Babbage) et aux ordinateurs (Lovelace, Turing, Von Neumann...).
- Bogues (ou bugs) et failles de sécurité des systèmes informatiques, comme contrepartie parfois graves de leur flexibilité.

● Chapitre 9. La biodiversité et son évolution

Savoirs	Savoir-faire
<p>Il existe sur Terre un grand nombre d'espèces dont seule une faible proportion est effectivement connue. La biodiversité se mesure par des techniques d'échantillonnage (spécimens ou ADN) qui permettent d'estimer le nombre d'espèces (richesse spécifique) dans différents milieux. Les composantes de la biodiversité peuvent aussi être décrites par l'abondance (nombre d'individus) d'une population, d'une espèce ou d'un plus grand taxon. > Unité 1</p> <p>Il existe plusieurs méthodes permettant d'estimer un effectif à partir d'échantillons. La méthode de « capture-marquage-recapture » repose sur des calculs effectués sur un échantillon. Si on suppose que la proportion d'individus marqués est identique dans l'échantillon de recapture et dans la population totale, l'effectif de celle-ci s'obtient par le calcul d'une quatrième proportionnelle. > Unité 2</p> <p>À partir d'un seul échantillon, l'effectif d'une population peut également être estimé à l'aide d'un intervalle de confiance. Une telle estimation est toujours assortie d'un niveau de confiance strictement inférieur à 100 % en raison de la fluctuation des échantillons. Pour un niveau de confiance donné, l'estimation est d'autant plus précise que la taille de l'échantillon est grande. > Unité 3</p>	<p>Exploiter des données obtenues au cours d'une sortie de terrain ou d'explorations scientifiques (historiques et/ou actuelles) pour estimer la biodiversité (richesse spécifique et/ou abondance relative de chaque taxon). > Unité 1</p> <p>Quantifier l'effectif d'une population ou d'un taxon plus vaste à partir de résultats d'échantillonnage. > Unité 2</p> <p>Estimer une abondance par la méthode de capture, marquage, recapture, fondée sur le calcul d'une quatrième proportionnelle. > Unité 2</p> <p>À l'aide d'un tableur, simuler des échantillons de même effectif pour visualiser la fluctuation d'échantillonnage. > Unité 3</p> <p>En utilisant une formule donnée pour un intervalle de confiance au niveau de confiance de 95 %, estimer un paramètre inconnu dans une population de grande taille à partir des résultats observés sur un échantillon. > Unité 3</p>
<p>Au cours de l'évolution biologique, la composition génétique des populations d'une espèce change de génération en génération. > Unité 5</p> <p>Le modèle mathématique de Hardy-Weinberg utilise la théorie des probabilités pour décrire le phénomène aléatoire de transmission des allèles dans une population. En assimilant les probabilités à des fréquences pour des effectifs de grande taille (loi des grands nombres), le modèle prédit que la structure génétique d'une population de grand effectif est stable d'une génération à l'autre sous certaines conditions (absence de migration, de mutation et de sélection). Cette stabilité théorique est connue sous le nom d'équilibre de Hardy-Weinberg. > Unité 4</p>	<p>Pour la transmission de deux allèles dans le cadre du modèle de Hardy-Weinberg, établir les relations entre les probabilités des génotypes d'une génération et celles de la génération précédente. > Unité 4</p> <p>Produire une démonstration mathématique ou un calcul sur tableur ou un programme en Python pour prouver ou constater que les probabilités des génotypes sont constantes à partir de la seconde génération (modèle de Hardy-Weinberg). > Unité 4</p> <p>Utiliser des logiciels de simulation basés sur ce modèle mathématique. > Unités 5 et 6</p>
<p>Les écarts entre les fréquences observées sur une population naturelle et les résultats du modèle s'expliquent notamment par les effets de forces évolutives (mutation, sélection, dérive, etc.). > Unité 5</p> <p>Les activités humaines (pollution, destruction des écosystèmes, combusions et leurs impacts climatiques, surexploitation d'espèces...) ont des conséquences sur la biodiversité et ses composantes (dont la variation d'abondance) et conduisent à l'extinction d'espèces. > Unité 6</p> <p>La fragmentation d'une population en plusieurs échantillons de plus faibles effectifs entraîne par dérive génétique un appauvrissement de la diversité génétique d'une population. > Unité 6</p> <p>La connaissance et la gestion d'un écosystème permettent d'y préserver la biodiversité. > Unité 7</p>	<p>Analyser une situation d'évolution biologique expliquant un écart par rapport au modèle de Hardy-Weinberg. > Unité 5</p> <p>Utiliser un modèle géométrique simple (quadrillage) pour calculer l'impact d'une fragmentation sur la surface disponible pour une espèce. > Unité 6</p> <p>À partir d'un logiciel de simulation, montrer l'impact d'un faible effectif de population sur la dérive génétique et l'évolution rapide des fréquences alléliques. > Unité 6</p> <p>Analyser des documents pour comprendre les mesures de protection de populations à faibles effectifs. > Unité 7</p> <p>Identifier des critères de gestion durable d'un écosystème. Envisager des solutions pour un environnement proche. > Unité 7</p>
<p>Prérequis et limites</p> <p>Les notions déjà connues de gènes et d'allèles, de diversité allélique, de sélection naturelle, de dérive génétique, de calcul de probabilités et de fluctuation d'échantillonnage sont mobilisées (classe de seconde).</p>	

● Chapitre 10. L'évolution comme grille de lecture du monde	
Savoirs	Savoir-faire
<p>Les structures anatomiques présentent des particularités surprenantes d'un point de vue fonctionnel, pouvant paraître sans fonction avérée ou bien d'une étonnante complexité. Elles témoignent de l'évolution des espèces, dont la nôtre. Les caractères anatomiques peuvent être le résultat de la sélection naturelle mais certains sont mieux expliqués par l'héritage de l'histoire évolutive que par leur fonction. > Unité 1 et 2</p> <p>L'évolution permet de comprendre des phénomènes biologiques ayant une importance médicale. L'évolution rapide des organismes microbiens nécessite d'adapter les stratégies prophylactiques, les vaccins et les antibiotiques. > Unité 4</p> <p>Depuis la révolution agricole, la pratique intensive de la monoculture, la domestication et l'utilisation de produits phytosanitaires ont un impact sur la biodiversité et son évolution. > Unité 3</p>	<p>Expliquer l'origine d'une structure anatomique en mobilisant les concepts de hasard, de variation, de sélection naturelle et d'adaptation (exemple de l'œil). > Unité 1</p> <p>Interpréter des caractéristiques anatomiques humaines en relation avec des contraintes historiques (comme le trajet de la crosse aortique), des contraintes de construction (comme le téton masculin), des compromis sélectifs (comme les difficultés obstétriques) ou des régressions en cours (comme les dents de sagesse). > Unité 2</p> <p>Mobiliser des concepts évolutionnistes pour expliquer comment des populations microbiennes pourront à longue échéance ne plus être sensibles à un vaccin (ou un antibiotique) > Unité 4 ou comment l'utilisation de produits phytosanitaires favorise le développement de ravageurs des cultures qui y sont résistants. > Unité 3</p>
Prérequis et limites Il n'est pas attendu de développement spécifique en matière d'embryologie ou d'agronomie.	
● Chapitre 11. L'évolution humaine	
Savoirs	Savoir-faire
<p>L'espèce humaine actuelle (<i>Homo sapiens</i>) fait partie du groupe des primates et est plus particulièrement apparentée aux grands singes avec lesquels elle partage des caractères morpho-anatomiques et des similitudes génétiques. > Unité 1</p> <p>C'est avec le chimpanzé qu'elle partage le plus récent ancêtre commun. > Unité 1</p> <p>Des arguments scientifiques issus de l'analyse comparée de fossiles permettent de reconstituer l'histoire de nos origines. > Unité 2</p> <p>L'étude de fossiles datés de 3 à 7 millions d'années montre des innovations caractéristiques de la lignée humaine (bipedie prolongée, forme de la mandibule). > Unité 2</p> <p>Le genre <i>Homo</i> regroupe l'espèce humaine actuelle et des espèces fossiles qui se caractérisent notamment par le développement de la capacité crânienne. Plusieurs espèces humaines ont cohabité sur Terre. > Unité 3</p> <p>Certains caractères sont transmis de manière non génétique: microbiote, comportements appris dont la langue, les habitudes alimentaires, l'utilisation d'outils... > Unité 4</p>	<p>Analyser des matrices de comparaison de caractères morpho-anatomiques résultant d'innovations évolutives afin d'établir des liens de parenté et de construire un arbre phylogénétique. > Unité 1</p> <p>Mettre en relation la ressemblance génétique entre les espèces de primates et leur degré de parenté. > Unité 1</p> <p>Positionner quelques espèces fossiles dans un arbre phylogénétique, à partir de l'étude de caractères. > Unité 3</p> <p>Analyser des arguments scientifiques qui ont permis de préciser la parenté de <i>Homo sapiens</i> avec les autres <i>Homo</i>, et notamment la parenté éventuelle avec les Néandertaliens ou les Denisoviens. > Unité 3</p>
Prérequis et limites L'objectif n'est pas de conduire une approche exhaustive des fossiles et de leurs caractères biologiques, mais de présenter la démarche scientifique permettant de construire une histoire raisonnée de l'évolution humaine. Les notions de liens de parenté, étudiées au collège, sont mobilisées; un accent particulier est mis sur l'importance de l'identification d'innovations évolutives communes.	
● Chapitre 12. Les modèles démographiques	
Savoirs	Savoir-faire
<p>Un modèle mathématique simple est le modèle linéaire. > Unité 1</p> <p>Une grandeur discrète u varie de manière linéaire en fonction d'un palier entier n si sa variation absolue $u(n+1) - u(n)$ est constante. Dans ce cas, les points $(n, u(n))$ sont situés sur une droite. La suite de terme général $u(n)$ est arithmétique. > Unité 1</p> <p>Dans la réalité, pour une population dont la variation absolue est presque constante d'un palier à l'autre, on peut ajuster le nuage de points qui la représente par une droite (modèle linéaire). > Unité 1</p>	<p>Exprimer $u(n)$ en fonction de $u(0)$ et n. > Unité 1</p> <p>Produire et interpréter des graphiques statistiques traduisant l'évolution d'effectif d'une population ou de ressources, notamment sous forme de nuages de points. > Unité 1</p> <p>À l'aide d'une calculatrice ou d'un tableur, ajuster un nuage de points par une droite et utiliser ce modèle linéaire pour effectuer des prévisions. > Unité 1</p>
<p>Le modèle linéaire est inadapté pour représenter l'évolution d'une grandeur dont la variation absolue change fortement d'un palier à l'autre. > Unité 2</p> <p>Une grandeur discrète u varie de manière exponentielle en fonction du palier entier n si sa variation absolue $u(n+1) - u(n)$ est proportionnelle à sa valeur courante $u(n)$. Dans ce cas, sa variation relative (ou taux de variation) est constante et la suite de terme général $u(n)$ est géométrique. > Unité 2</p> <p>Dans la réalité, pour une population dont le taux de variation est presque constant d'un palier à l'autre, on peut ajuster le nuage de points par un modèle exponentiel. > Unité 2</p>	<p>Exprimer $u(n)$ en fonction de $u(0)$ et de n. > Unité 2</p> <p>À partir de données démographiques, calculer le taux de variation d'une population entre deux dates. > Unité 2</p>

Savoirs	Savoir-faire
<p>Le modèle démographique de Malthus est un modèle exponentiel d'évolution de l'effectif de la population. Il prévoit que l'effectif de la population décroît vers 0 si le taux de mortalité est supérieur au taux de natalité et croît vers l'infini si le taux de natalité est supérieur au taux de mortalité. > Unité 3</p> <p>Si les prédictions du modèle de Malthus peuvent se révéler correctes sur un temps court, elles sont irréalistes sur un temps long, notamment en raison de l'insuffisance des ressources disponibles. > Unité 3</p> <p>Des modèles plus élaborés prévoient que la population mondiale atteindra environ 10 milliards d'humains en 2050. > Unité 4</p>	<p>Calculer l'effectif final d'une population à partir de son effectif initial, de son taux de natalité et de son taux de mortalité. Selon le modèle de Malthus, prédire l'effectif d'une population au bout de n années. > Unités 2 et 3</p> <p>À l'aide d'un tableur, d'une calculatrice ou d'une représentation graphique, calculer le temps de doublement d'une population sous l'hypothèse de croissance exponentielle.</p> <p>> Unité 2</p> <p>À partir de documents fournis, proposer un modèle de croissance de ressources alimentaires (par exemple la production mondiale de blé ou de riz) et la comparer à une croissance exponentielle. > Unité 3</p> <p>Comparer les valeurs fournies par un modèle à des données réelles afin de tester sa validité. > Unités 3 et 4</p>

Prérequis et limites

Différentes notions déjà étudiées sont mobilisées : fonctions affines, représentations graphiques de droites, fonction de variable entière et notation $u(n)$. La connaissance de la fonction exponentielle n'est pas exigible.

● Chapitre 13. L'intelligence artificielle

Savoirs	Savoir-faire
<p>Jusqu'au début du xx^e siècle, les machines traitant l'information sont limitées à une ou quelques tâches prédéterminées (tisser grâce à un ruban ou des cartes perforées, trier un jeu de carte perforées, séparer des cartes selon un critère, sommer des valeurs indiquées sur ces cartes, ...). Turing a été le premier à proposer le concept de machine universelle qui a été matérialisé dix ans plus tard avec les premiers ordinateurs. Ceux-ci sont constitués <i>a minima</i> d'un processeur et d'une mémoire vive. > Unité 1</p> <p>Un ordinateur peut manipuler des données de natures diverses une fois qu'elles ont été numérisées : textes, images, sons. Les programmes sont également des données : ils peuvent être stockés, transportés, et traités par des ordinateurs. En particulier, un programme écrit dans un langage de programmation de haut niveau (Python, Scratch...) peut être traduit en instructions spécifiques à chaque type de processeur. > Unité 2</p>	<p>Analyser des documents historiques relatifs au traitement de l'information et à son automatisation. > Unité 1</p> <p>Recenser les différentes situations de la vie courante où sont utilisés les ordinateurs, identifier lesquels sont programmables et par qui (thermostat d'ambiance, smartphone, box internet, ordinateur de bord d'une voiture...).</p> <p>> Unité 1</p> <p>Savoir distinguer les fichiers exécutables des autres fichiers sous un système d'exploitation donné. > Unité 2</p> <p>Connaître l'ordre de grandeur de la taille d'un fichier image, son, vidéo. > Unité 2</p> <p>Savoir calculer la taille en octets d'une page de texte (en ASCII et non compressé). > Unité 2</p>
<p>Un programme peut comporter jusqu'à plusieurs centaines de millions de lignes de code, ce qui rend très probable la présence d'erreurs appelées bogues (ou bugs). Ces erreurs peuvent conduire un programme à avoir un comportement inattendu et entraîner des conséquences graves. > Unité 3</p>	<p>Étant donné un programme très simple, proposer des jeux de données d'entrée permettant d'en tester toutes les lignes. Corriger un algorithme ou un programme bogué simple. > Unité 3</p>
<p>Le terme « intelligence artificielle » (IA) recouvre un ensemble de théories et de techniques qui traite de problèmes dont la résolution fait appel à l'intelligence humaine. > Unité 4</p> <p>L'apprentissage machine (ou « apprentissage automatique ») utilise des programmes capables de s'entraîner à partir de données. Il exploite des méthodes mathématiques qui, à partir du repérage de tendances (corrélations, similarités) sur de très grandes quantités de données (big data), permet de faire des prédictions ou de prendre des décisions sur d'autres données. > Unité 4</p> <p>La qualité et la représentativité des données d'entraînement sont essentielles pour la qualité des résultats. Les biais dans les données peuvent se retrouver amplifiés dans les résultats. > Unité 6</p>	<p>Analyser des documents relatifs à une application de l'intelligence artificielle. Unité 5</p> <p>Utiliser une courbe de tendance (encore appelée courbe de régression) pour estimer une valeur inconnue à partir de données d'entraînement. > Unité 4</p> <p>Analyser un exemple d'utilisation de l'intelligence artificielle : identifier la source des données utilisées et les corrélations exploitées. > Unités 4 et 5</p> <p>Sur des exemples réels, reconnaître les possibles biais dans les données, les limites de la représentativité. > Unité 6</p> <p>Expliquer pourquoi certains usages de l'IA peuvent poser des problèmes éthiques. > Unités 5 et 6</p>
<p>L'inférence bayésienne est une méthode de calcul de probabilités de causes à partir des probabilités de leurs effets. Elle est utilisée en apprentissage automatique pour modéliser des relations au sein de systèmes complexes, notamment en vue de prononcer un diagnostic (médical, industriel, détection de spam...). Cela permet de détecter une anomalie à partir d'un test imparfait. > Unité 7</p>	<p>À partir de données, par exemple issues d'un diagnostic médical fondé sur un test, produire un tableau de contingence afin de calculer des fréquences de faux positifs, faux négatifs, vrais positifs, vrais négatifs. En déduire le nombre de personnes malades suivant leur résultat au test. > Unité 7</p>

Prérequis et limites

Les probabilités étant assimilées à des fréquences, il est possible de raisonner sur des tableaux à double entrée sans faire appel explicitement à la théorie des probabilités conditionnelles ni à la formule de Bayes.

CRÉDITS

Couverture

Istock/Tsekhmister; Anilyanik; DonLand; Akindo; Mejnak; Gluiki; Pogonici; JackF; Calvindexter; Ara Hovhannisyan; MattGrove; Tassel78; Martha Kraft; Artphoto13 et Bigmouse108

19: Leemage/Photo Josse; **20-21**: Nasa/Goddard/Barrel/Brett Anderson; **22hg**: ESO/H. Drass et al.; **22hd**: ESO/Mark McCaughrean (Max Planck Institute for Astronomy), C. Robert O'Dell (Rice University), and NASA/ESA; **23hg**: Nelson Eby, University of Massachusetts Lowell, USA; **23hd**: John W. Valley, University of Wisconsin Madison, USA; **24h**: Graeme Churchard, CC-A-2.0; **24bg**: CNRS Photothèque/Purificación Lopez Garcia; **24bd**: EBPhoto/Nature PL/Jiri Lochman; **26**: AFP/Miguel Riopa; **27**: Eric Chatelain; **28h**: iStock/Igor Plotnikov; **28m**: iStock/Xalanx; **28b**: Biosphoto/Christophe Sidamon-Pesson; **29**: iStock/Elcovanalana; **33g**: SPL/Walter Myers; **33m**: Photo12/Alamy/B. Christopher; **33d**: AGE/UIG/Auscape; **34**: iStock/Shauni; **35**: Paxal Image/Christophe Michel; **36g**: iStock/Halock; **36d**: Endurance Gold Corporation; **37h**: iStock/Quickshooting; **37b**: iStock/w-ings; **38**: iStock/Hadynyah; **39h**: Biosphoto/NouN; **39b**: INRA/Christian Dupraz; **40-41**: NASA/GSFC/GMAO; **44hg**: iStock/SimplyCreativePhotography; **44m**: NASA/MODIS Ocean Science Team; **45g**: SPL/Bernhard Edmaier; **46h**: AGE/SSPL/Science Museum; **46b**: iStock/Jana-Janina; **50**: Sabrina Speich; **51hg, hd**: Paxal Image/Christophe Michel; **51b**: Isabelle Veltz; **56**: AFP/Jean-François Monier; **59**: Andia/Alpaca/Eric Soudan; **60**: Réa/Redux-The New York Times/Josh Haner; **62-63**: Réa/Zuma/Matthias Oesterle; **64hg**: Jean-Louis Dufresne; **64hd**: NASA/JSC; **64mg**: iStock/Shayes17; **64md**: iStock/Mlharing; **66hg, reprise 67bm**: IPSL/LSCE; **66m, reprise 68b**: Camille Risi; **66b**: CNRS Photothèque/Cyril Fresillon; **68hd, reprise 73h**: Eric Chatelain; **68m**: iStock/Eclipse Images; **69**: IPCC/WHO-UNEP; **70hg**: iStock/PrimeImages; **70hmg**: iStock/Dr-Flash; **70hmd**: iStock/XXLPhoto; **70hd**: iStock/Media Production; **70bg**: Biosphoto/Cyril Ruoso; **70bmg**: iStock/HeliRy; **70bmd**: iStock/Van der Wolf Images; **70bd**: iStock/Traimark-Ivan; **75**: Isabelle Veltz; **85g**: iStock/John Anderson; **85d**: AGE/Blickwinkel/F. Teigler; **86-87**: Réa/Zenit-Laif/Paul Langrock; **89h**: iStock/Bjdlzx; **89m**: iStock/Prluka; **89b**: iStock/Ilya Postnikov; **90h**: iStock/Prill; **90m**: Réa/Zenit-Laif/Paul Langrock; **90b**: MaxPPP/Landov/Yang Chun; **91h, m**: © 2020 Worldmapper; **92bg**: Airparif, 2018; **92bm**: Atmo Auvergne-Rhône-Alpes; **92bd**: Prév'air; **103**: iStock/Mbbirdy; **105**: Roger-Viollet/Topfoto; **107h**: iStock/Irochka; **107b**: iStock/Smileus; **109**: Coll. Kharbine-Tapabor; **110-111**: iStock/Thitivong; **112h**: The Wellcome Library, CC-BY-SA-4.0; **112md**: Smithsonian Libraries; **112bg**: Tristan Beau; **113mg**: ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv, CC-BY-SA-4.0; **113md, b**: The Wellcome Library, CC-BY-SA-4.0; **114h**: Réa/Gilles Rolle; **114bg**: Photo12/Alamy/Phil Degginger; **114bd**: iStock/Bosca78; **115**: Tristan Beau; **116h**: The Wellcome Library, CC-BY-SA-4.0; **116mh**: Niels Bohr Library; **116mb**: US Library of Congress; **116b**: ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv, CC-BY-SA-4.0; **118h**: AFP/Eugène Tanner; **118m**: NASA; **118b**: Sipa/Witt; **125**: Shenzhen XiangXinrui Solar Co Ltd; **126h**: iStock/Gorfer; **126b**: iStock/123Ducu; **127**: iStock/Youra Pechkin; **128**: NASA/JSC; **129**: iStock/EL_Peyote; **130-131**: Hémis.fr/Matthieu Colin; **132g**: Naturimages/Alain Pellorce; **132d**: Réa/Patrick Allard; **133h**: AFP/Fred Tanneau; **133b**: iStock/MediaRawStock; **134**: Leemage/FineArtImages; **135**: SunCNIM; **136h**: The Wellcome Library, CC-BY-SA-4.0; **136m**: Paxal Image/Christophe Michel; **137**: Réa/Gilles Rolle; **138**: AGE/Zoonar/G. Fischer; **139**: Reuters/Ivan Alvarado; **140**: Géoportail, IGN France; **141**: Geni, GFDL, CC-BY-SA-2.0; **142hg**: The Wellcome Library, CC-BY-SA-4.0; **142hd, bg, bd**: SPL/American Institute of Physics/Emilio Segre Visual Archives; **147g**: Réa/Laurent Grandguillot; **147d**: iStock/Tupungato; **148h**: MaxPPP/Ouest France/PhotoPQR/Jonathan Konitz; **148m**: Photononstop/Author's Image/Florent Reclus; **149**: iStock/Ruud Morijn; **150**: AFP/Getty/China Photos; **151**: Tristan Beau; **153h**: Services Industriels Lausanne/Swisspower; **153b**: AGE/Targa; **154-155**: Réa/Laif/Christian Heeb; **156**: Dave Bryant, CC-BY-SA-3.0; **158**: AFP/Frank Perry; **166-167**: Andia.fr/Grimault; **170**: Sipa/AP/STR; **171**: Andra; **173g**: SPL/EFDA-JET; **173d**: ITER Organization/EJF Riche; **175**: Réa/Jean-Claude Moschetti; **177g**: MaxPPP/Le Républicain/PhotoPQR/Pascal Brocard; **177d**: iStock/Anouchka; **179h**: Réa/Gilles Rolle; **179m**: Fotoreso/Christophe Recoura; **179b**: MaxPPP/Ouest France/PhotoPQR/Jérôme Fouquet; **183**: Réa/Laurent Grandguillot; **185**: AGE/View Stock; **186**: Photo12/Alamy/RJFoto; **187**: AFP/Romeo Gacad; **188g**: iStock/Alexklich; **188m**: iStock/Timofey Tyurin; **188d**: iStock/Schmitz Olaf; **189h**: iStock/Jaroslaw Kilian; **189b**: iStock/Juefra Photo; **190**: Carte produite par Augustin Roche le 28-02-2020, Data.gouv.fr; **191**: Coll. Kharbine-Tapabor; **192-193**: Biosphoto/Christoph Gerigk; **194**: Géoportail, IGN France; **195h**: Angelo Villagomez; **195m**: iStock/Vpommeyrol; **195b**: Pellagic, Université de Montpellier; **196**: Sarkar, Dipon & Muthukrishnan, Siva & Sarkar, Manas. (2017). Fluorescent marked mosquito offer a method for tracking and study mosquito behaviour. International Journal of Mosquito Research. 4. 5-9.; **200, reprise 203**: Christine Vassiliadis; **201g**: SPL/American Philosophical Society; **201d**: The Wellcome Library, CC-BY-SA-4.0; **204**: EBPhoto/Nature PL/Mark Carwardine; **205**: EBPhoto/Nature PL/George McCarthy; **206**: AFFO-Conservatoire d'Espaces Naturels de Normandie; **210**: Andia.fr/Euroluftbild.de/Robert Grahn; **213h**: iStock/AzgAr Domnaz; **213b**: SPL/Bob Gibbons; **214**: Biosphoto/Sergio Hanquet; **215h**: Biosphoto/Françoise & Jean-Luc Ziegler; **215b**: EBPhoto/Nature PL/Alex Hyde; **216**: AGE/Animals Animals/Breck P. Kent; **217h**: iStock/Mazzur; **217b**: Biosphoto/Minden Pictures/Cyril Ruoso; **218b**: ISM/Hervé Conge; **218-219**: Hémis.fr/Stéphane Lemaire; **220hg**: iStock/F9photos; **220hm**: Biosphoto/Photo Researchers/Dante Fenolio; **220hd**: SPL/Andrew J. Martinez; **220bg**: iStock/Zoerae28; **220bm**: Biosphoto/WaterFrame Agence/Borut Furian; **220bd**: AGE/Marevision; **221hg, reprise 228b**: Eric Chatelain; **221hd**: Jana Bedek, HBSD, CC-BY-SA-3.0; **224**: Li et al, Molecular footprints of domestication and improvement in soybean revealed by whole genome re-sequencing, BMC Genomics 2013, 14:579; **225**: iStock/Edelman; **227**: BSIP/James Cavallini; **228hg**: Nationalmuseum, Stockholm; **228hm, hd, m**: The Wellcome Library, CC-BY-SA-4.0; **233hg**: OMS/WHO; **233hd**: ISM/Jean-Claude Révy; **233bg, bd**: Samuel Rebular; **236g**: iStock/Unkas-Photo; **236d**: iStock/Zeleno; **238h**: iStock/GoodOlga; **238b**: iStock/Uzuri71; **239**: iStock/Apgestoso; **240-241**: SPL/Marco Ansaldi; **242hg**: Biosphoto/Tesni Ward; **242hm**: Biosphoto/Ardea/Adrian Warren; **242hd**: Bone Clones; **242bg**: iStock/Rickochet; **242bm**: Biosphoto/Claude Guihard; **242bd**: Shutterstock/Anrentolog; **243**: Eric Chatelain; **244hg**: Photo12/Alamy/Sabena Jane Blackbird; **244hd**: Brigitte Senut, Aux Origines Africaines de l'Homme, Afrique Archéologie et Arts, 612010, 9-24; **244b**: MNHN/Agnès Iatzoura; **245hg, hm**: Catherine Tardieu, Origine et Évolution de la Bipédie, DOI 10.1016/j.motcer.2018.04.003; **245mg, mm**: Paxal Image/Christophe Michel; **245md**: Dominique Grimaud-Hervé; **245bg**: Photo12/Alamy/The Natural History Museum, London; **245bd**: iStock/Bym; **246g**: Brian Villmoare, University of Nevada Las Vegas; **246d**: MaxPPP/UPI/MPI EVA

Leipzig/Sarah Freidline; **247hg, mg**: SPL/John Reader; **247hm**: Peter Brown, Tomoko Maeda, Liang Bua Homo Floresiensis Mandible and Mandibular Teeth: a Contribution to the Comparative Morphology of a New Hominin Species, DOI 10.1016/J.hevol.2009.03.002; **247hd**: SPL/MSF/Javier Trueba; **247b**: Gilles Berillon; **248g**: Hémis.fr/Novarc Images; **248d**: iStock/Cristian Lazzari; **249**: Signatures/Didier Goupy; **250h**: iStock/Demarfa; **250m**: Photo12/Alamy/Sabena Jane Blackbird; **250b**: iStock/JazzIRT; **251h**: MNHN/J. C. Domenech; **251b**: Callao Cave Archeology Project; **255g**: SPL/John R. Foster; **255d**: Photo12/Alamy/The Natural History Museum, London; **256h, reprise 260mg**: iStock/David Callan; **256mh, reprise 260md**: iStock/Thyegn; **256m**: iStock/Marco Photos; **256mb**: iStock/Anolis01; **256b**: Biosphoto/Patrice Correia; **259**: AGE/Christian Heeb; **260g**: iStock/Damian Kuzdak; **260mmg**: iStock/Oleg Senkov; **260m**: Photo12/Alamy/Malcolm Park Editorial; **260mmd**: Photo12/Alamy/Lorenza Photography; **260d**: iStock/Stockfour; **261h**: Brigitte Senut, Aux Origines Africaines de l'Homme, Afrique Archéologie et Arts, 612010, 9-24; **261b**: Dominique Gommery, Brigitte Senut, La Phalange Distale du Pouce d'Orrrorin Tugenensis (Miocène Supérieur du Kenya), DOI 10.1016/j.geobios.2005.03.002; **262-263**: AGE/Arco Images/R. Wittek; **265h**: iStock/Acik; **265b**: iStock/Damian Kuzdak; **266**: Biosphoto/Minden Pictures/Buuiten Beeld/Jordi Strijdhorst; **267**: iStock/J. Armando Fernandes; **268hg**: The Wellcome Library, CC-BY-SA-4.0; **268hd**: Bridgeman Images/UIG; **268b**: BEIC Digital Library; **269g**: Photo12/Alamy/History & Art Collection; **269d**: Bastien Michel; **270hg**: iStock/Himarkley; **270hm**: AGE/Peter Langer; **270hd**: AGE/McPhoto/T. Sbampato; **270mhg**: AGE/Image Broker/Florian Kopp; **270mhm**: iStock/Hadynyah; **270mhd**: iStock/Grandriver; **270mbg**: iStock/Nikhul Patil; **270mbm**: iStock/Aza-za; **270bg**: iStock/Richlegg; **270bmg**: iStock/Zinkevych; **270bmd**: AGE/Eric Lafforgue; **270bd**: AGE/McPhoto/O. Protze; **271**: Elisabeth Leroy-Viniane; **275**: iStock/Eduardo Leite; **277h**: Akg-Images/De Agostini PL; **277b**: AFP/Kazuhiro Nogi; **278**: iStock/Jeff McGraw; **279**: Biosphoto/Patrice Correia; **281**: AGE/Zoonar/Don Mammoser; **282-283**: Réa/Zuma/Waltraud Grubitzsch; **284hg**: Photo12/Alamy/Skyfish; **284hmg**: iStock/Bagi1998; **284hmd**: Photo12/Alamy/Dmitri Maruta; **284hd**: Photo12/Alamy/Andrew N. Gagg; **284mg**: AGE/Artepics; **284mm**: The Wellcome Library, CC-BY-SA-4.0; **284md**: Akg-Images/Science Source; **284b**: Getty/Bettmann; **285h**: SPL; **285mh**: iStock/Adventtr; **285mmh**: iStock/Grassetto; **285mbb**: iStock/Don Nichols; **285mb**: iStock/Andrei Zakoliukin; **285b**: iStock/Scanrail; **287**: John Graham Cumming; **288**: iStock/WaveBreakMedia; **290h, reprise 295**: INRIA Photothèque; **292**: Tesla; **296**: Droits réservés; **302**: iStock/Scanrail; **303h**: IBM Zürich Research Laboratory; **303mh**: Mutatis mutandis, CC-BY-SA-3.0; **303mbg**: iStock/Anthony Rosenberg; **303mbd**: iStock/Kaczka; **303bg**: iStock/mm88; **303bd**: iStock/Malerapaso; **305**: Akg-Images/De Agostini PL; **306**: SPL/National Institutes of Health/NIAID-RML; **307**: NASA/JPL-Caltech, University of Arizona.

Édition: Édith Grosbellet et Stéphane Frey.

Assistante éditoriale: Stéphanie Houlle.

Couverture: Studio Humensis, Marion Aguttes.

Conception de la maquette intérieure: Marie-Astrid Bailly-Maître.

Mise en pages: Fabienne Le Bihan.

Illustrations: Laurent Blondel, Mathilde Boucher, Man (dessins de presse), Thomas Haessig, Aurore Mathon, Antoine Pomella, Diane Rottner, Amélie Veaux.

Cartographie: Justine Bergeron (Légendes cartographie).

Iconographie: Valérie Delchambre.

Photogravure et prépresse: Labogravure et Arthur Caillard.

Fabrication: Marianne Sigogne et Zoé Farre-Vilalta.

Toutes les références à des sites Internet présentées dans cet ouvrage ont été vérifiées attentivement à la date d'impression. Compte tenu de la volatilité des sites et du détournement possible de leur adresse, Belin Éducation ne peut en aucun cas être tenu pour responsable de leur évolution. Nous appelons donc chaque utilisateur à rester vigilant quant à leur utilisation.

Le code de la propriété intellectuelle n'autorise que « les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » [article L. 122-5]; il autorise également les courtes citations effectuées dans un but d'exemple ou d'illustration. En revanche « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » [article L. 122-4]. La loi 95-4 du 3 janvier 1994 a confié au C.F.C. (Centre français de l'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris), l'exclusivité de la gestion du droit de reprographie. Toute photocopie d'œuvres protégées, exécutée sans son accord préalable, constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.



Écoresponsabilité: faisons toujours mieux

Belin Éducation, initiateur des opérations gratuites et civiques de recyclage des manuels scolaires, est engagé dans une démarche écologique pour leur fabrication

belin-education.com/ecoresponsabilite.com



La pâte à papier utilisée pour la fabrication du papier de cet ouvrage provient de forêts certifiées et gérées durablement.

Imprimé en France par Pollina S.A. – 85400 Luçon

N° d'imprimeur : xxxx - Dépôt légal : avril 2020

N° d'édition : 03580899-01

