

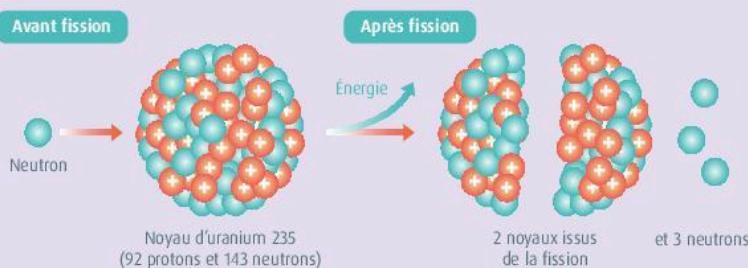


POUR BIEN COMMENCER

Quelques notions déjà vues

PC 2de Principe de la fission nucléaire

La fission est la division d'un noyau atomique, sous l'action d'un neutron, en deux noyaux plus légers avec libération de plusieurs neutrons (en général 2 ou 3) et libération d'énergie. Les noyaux susceptibles de subir la fission sont dits fissiles et contiennent un grand nombre de nucléons (par exemple : uranium 235, plutonium 239).



SVT Cycle 4 Risques, aléas et enjeux



Se tester avant de démarrer

Savez-vous répondre aux questions suivantes ?

1. Quels risques sont associés à l'exploitation de l'énergie nucléaire ?
2. Qu'appelle-t-on une transition énergétique ?
3. Donnez l'exemple d'une mesure d'atténuation et d'adaptation face au réchauffement climatique.

Vélo et tramway dans la ville de Toulouse. Cette photographie illustre différents types de transport urbains. Chaque mode de transport pour relier son domicile et son travail a une empreinte carbone différente et de nombreux paramètres entrent en jeu dans les choix de nos modes de déplacement.



CHOIX ÉNERGÉTIQUES ET IMPACTS SUR LES SOCIÉTÉS

Quels paramètres influencent les choix énergétiques des sociétés et comment ces choix s'inscrivent-ils dans une transition écologique ?



L'énergie nucléaire, un choix de société

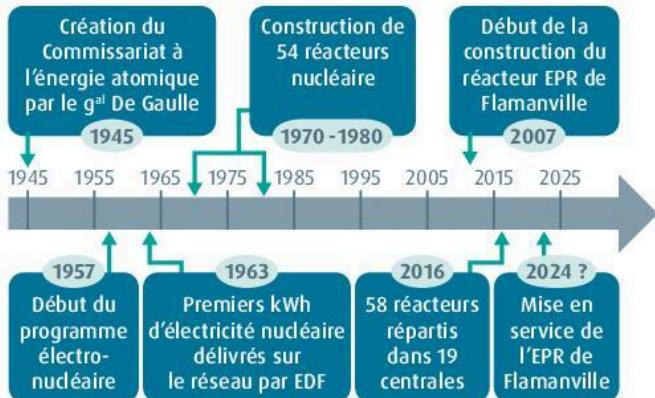
L'énergie nucléaire permet de produire 12 % de l'électricité mondiale. La France est le deuxième plus gros producteur mondial et le nucléaire est la principale source d'électricité du pays.

Quels sont les impacts de choix énergétique comme le nucléaire ?

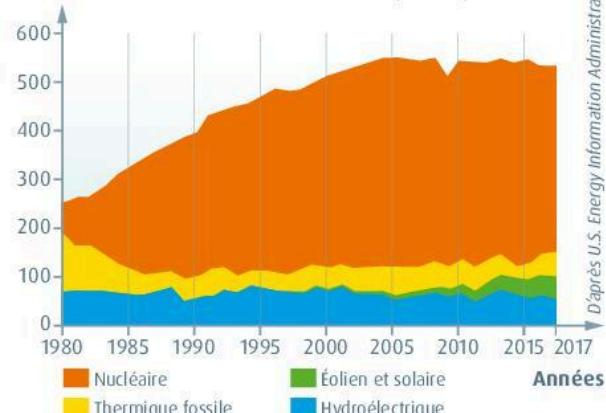
Vidéo



FRANCE



Production nette d'électricité en France (en TWh)



ALLEMAGNE

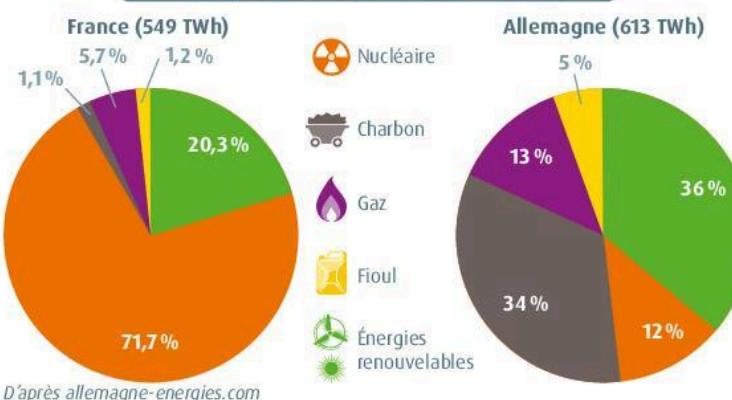
Suite à l'accident nucléaire de Fukushima (Japon) en 2011, Angela Merkel, chancelière fédérale d'Allemagne, prend la décision de cesser progressivement de produire de l'électricité d'origine nucléaire, qui contribue alors à 20 % de la production électrique. Cette décision est associée à un plan de développement des énergies renouvelables (solaire et éolienne). L'arrêt et le démantèlement des centrales nucléaires ne peut se faire que progressivement. On estime qu'un milliard d'euros environ est nécessaire pour le démantèlement de chaque réacteur.

Capacité nucléaire nette en Allemagne (en MW)

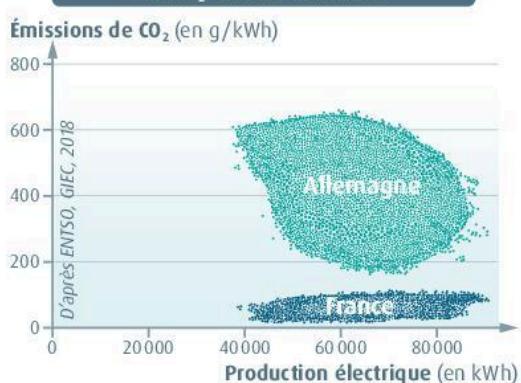


DOC 1 Choix énergétiques et choix politiques. Dans la seconde moitié du xx^e siècle, en France et dans plusieurs pays du monde dépourvus de ressources pétrolières, l'énergie nucléaire a été privilégiée pour la production d'électricité.

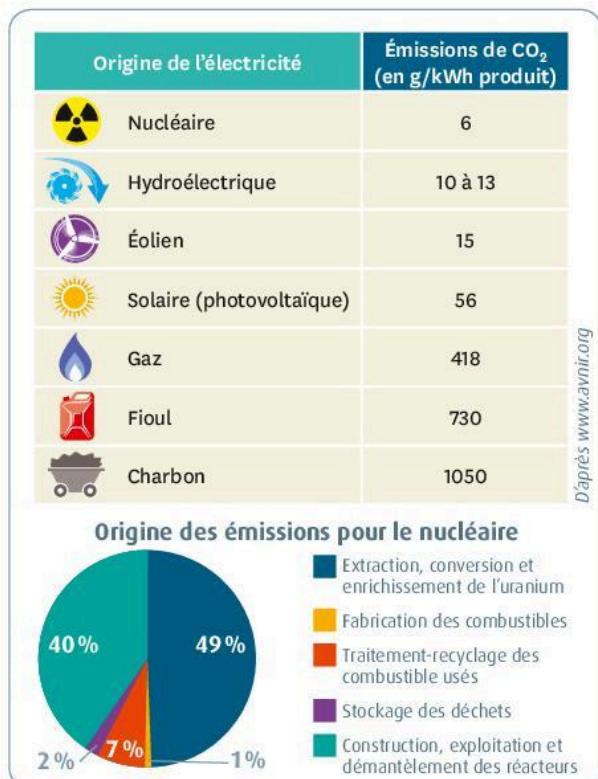
Mix énergétique de la France et de l'Allemagne



Production d'électricité et émissions de CO₂ associées en 2018



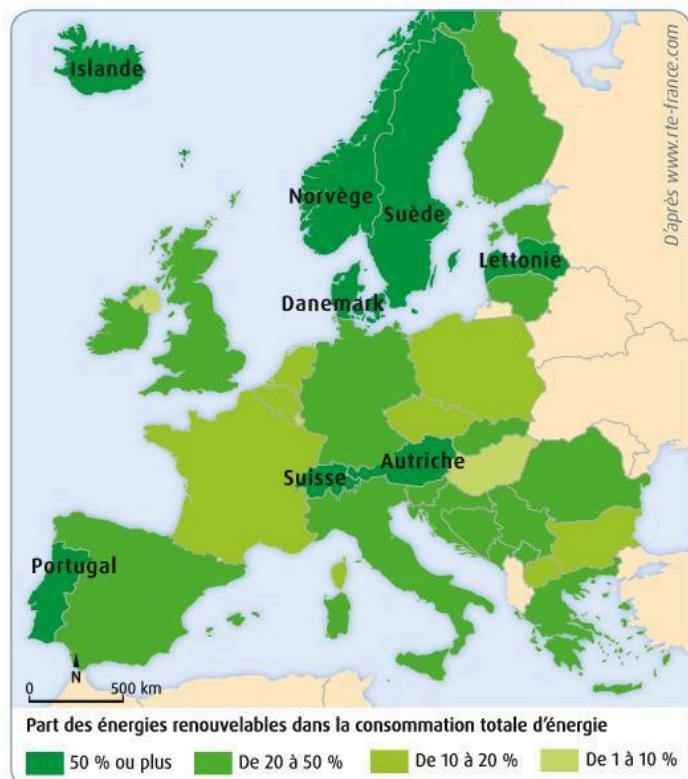
DOC 2 La production d'électricité en 2018. Le mix énergétique est la répartition des différentes sources d'énergie primaire d'une région du monde. Sur le graphique de droite, chaque point représente une heure de production électrique positionnée selon la quantité d'électricité produite et la quantité de dioxyde de carbone (CO₂) émise.



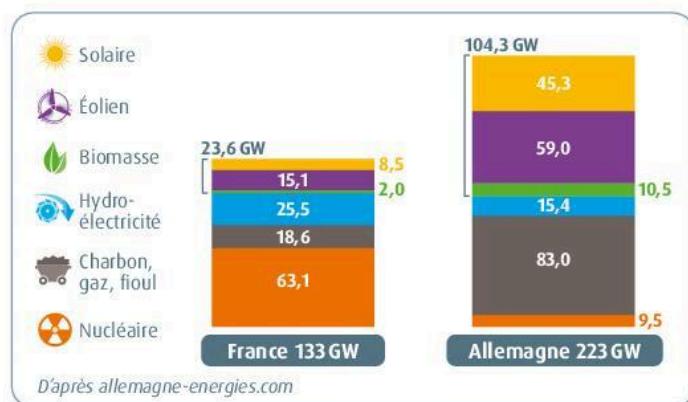
DOC 3 Émission de CO₂ liées à la production d'électricité. Ces valeurs sont des estimations tenant compte de l'ensemble des étapes de la production d'électricité. Pour l'éolien par exemple, les émissions de carbone tiennent compte de la fabrication des éoliennes (qui consomme elle-même de l'énergie). Les valeurs sont données pour la France et peuvent varier d'un pays à l'autre.



DOC 5 Répartition des ressources mondiales en uranium. L'uranium est le combustible de l'énergie nucléaire. En France, le choix a été fait de diversifier les pays fournisseurs pour limiter les risques liés à des tensions politiques internationales ponctuelles ou des difficultés d'approvisionnement.



DOC 4 Couverture de la consommation électrique par les énergies renouvelables en Europe en 2017.



DOC 6 La puissance de production électrique installée fin 2018. Les besoins en électricité sont variables selon les périodes. L'énergie électrique doit être produite en fonction de ces besoins, car elle ne peut être stockée en grande quantité. L'énergie solaire et l'énergie éolienne (dépendantes du soleil et de l'importance du vent) ne sont pas toujours disponibles lorsqu'il y a des fortes consommations d'électricité. Il faut alors utiliser l'électricité nécessaire des centrales au gaz et au charbon.

EXPLOITER LES DOCUMENTS TÂCHE COMPLEXE

À l'aide des données de la double page et de l'unité suivante, comparez les choix énergétiques de la France et de l'Allemagne pour la production de l'électricité. Vous préciserez les avantages et les inconvénients inhérents à ces choix dans les deux pays, concernant l'impact sur le climat, l'environnement, la santé et la sécurité.



ESPRIT CRITIQUE

Les controverses peuvent être vives entre les partisans et les adversaires de l'électricité d'origine nucléaire.
→ Que dit la science des dangers et risques liés aux centrales nucléaires ?

Pistes de travail ► UNITÉ 2 p. 170

Les dangers du nucléaire en débat

Un débat actuel: la production d'électricité nucléaire est l'objet d'un vif débat sociétal. Parmi les points de discussion, il y a les risques en cas d'accident et la gestion des déchets radioactifs.

VOTRE MISSION Préparez un exposé oral de cinq minutes où vous résumerez l'état des connaissances sur la question des accidents nucléaires et celle des déchets.

1. Tchernobyl: le plus grave accident du nucléaire civil.

Le 26 avril 1986 à 1h23 du matin, un réacteur de la centrale nucléaire de Tchernobyl (à l'époque en URSS, aujourd'hui en Ukraine) explose accidentellement au cours d'un essai technique. L'explosion soulève le couvercle supérieur d'un poids de 2000 tonnes (voir vue aérienne de la centrale ci-contre). Le cœur du réacteur est alors à l'air libre. Plus de 350 000 personnes doivent être évacuées. Les incendies seront éteints au bout de deux semaines. Dans les mois et années qui ont suivis, on estime que 600 000 ouvriers, surnommés liquidateurs, sont intervenus pour consolider les restes du réacteur, évacuer les gravats, construire un sarcophage de béton autour du réacteur, etc. Ils furent exposés à la très forte radioactivité dégagée sur le site.



2. En 2020, le bilan humain de Tchernobyl toujours controversé.

Travailleurs de la centrale et liquidateurs

- 31 décès selon l'OMS
- Âge moyen de décès des liquidateurs :
45 ans selon un rapport de l'Académie des sciences d'Ukraine



- Décès attendus pour cancer de la thyroïde
160 selon l'ONU
4 000 selon l'OMS
- Nombre de décès totaux attendus
4 000 selon l'ONU
90 000 selon l'ONG Greenpeace
1 000 000 selon certains scientifiques biélorusses

3. Pourquoi tant d'incertitudes ?

Plusieurs raisons expliquent que le nombre de victimes de l'accident de Tchernobyl soit estimé avec une grande incertitude.

- Un cancer peut se déclarer 10-30 ans après l'exposition. Or les cancers peuvent être la conséquence de plusieurs facteurs. Ainsi, sur les cancers de la thyroïde, la part attribuée à l'accident varie de 7 à 50 % selon les auteurs.
- Les effets des faibles doses de radiation (auxquelles une population a été soumise) sont mal documentés : au-dessus de 100 mSv d'irradiation, il y a augmentation du risque de certains cancers, mais en dessous les modèles sont controversés.
- Il y a un manque de confiance des institutions internationales concernant certaines données fournies par les scientifiques locaux, notamment d'Ukraine et du Belarus. Par exemple, l'estimation d'un million de morts a été publiée dans les Annales de l'Académie des sciences de New-York, mais l'article n'avait pas été auparavant relu de façon critique et accepté par d'autres chercheurs («peer reviewing», voir p. 12).

Le bilan humain ne se limite toutefois pas aux personnes décédées des suites de l'irradiation. Il faut également prendre en compte les effets du déplacement de centaines de milliers de personnes et la contamination de terres agricoles par des radioéléments à longue durée de vie.

4. Les différents types de déchets radioactifs.

On qualifie la dangerosité d'un déchet radioactif en fonction de :

- son **activité**, qui correspond au nombre de désintégrations radioactives par seconde en **béquerel** (Bq). Pour un matériau, la grandeur importante est l'activité d'une unité de masse, A_m (en Bq/kg) ;
- la mesure en **Gray** (Gy) de la **quantité d'énergie** déposée par un rayonnement radioactif dans une unité de masse d'un corps ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$) ;
- la mesure en **Sievert** (Sv) de l'**impact biologique** d'un rayonnement sur la matière vivante ;
- la **période $T_{1/2}$** (temps nécessaire à la désintégration de la moitié des atomes radioactifs).

Activité et période permettent de distinguer 5 classes de déchets. Les déchets à vie très courte ($T_{1/2} < 100$ jours ; issus surtout du secteur médical) sont comptabilisés à part.

Classe de déchet	Origine	Volume*	Activité*
◆ Haute activité ($A_m > 10^6$) HA	Combustible usé	0,2 %	95 %
◆ Moyenne activité ($10^3 < A_m < 10^6$) ◆ Vie longue ($T_{1/2} > 31$ ans) MA-VL	Structure des assemblages de combustible	2,9 %	4,9 %
◆ Faible activité ($10^{-1} < A_m < 10^3$) ◆ Vie longue FA-VL	Déchets de graphite du démantèlement des premiers réacteurs nucléaires	5,9 %	0,14 %
◆ Activité faible ou moyenne ◆ Vie courte ($100 \text{ jours} < T_{1/2} < 31 \text{ ans}$) FMA-VC	Maintenance (vêtements, outils contaminés)	59,6 %	0,03 %
◆ Très faible activité ($A_m < 10^{-1}$) TFA	Déchets métalliques ou plastiques à proximité des sites nucléaires	31,3 %	0,0001 %

* Volume en pourcentage du volume total des déchets en France ; activité en pourcentage de l'activité totale des déchets (inventaire 2018 de l'Andra).

5. La gestion des déchets.

Dans plusieurs pays, dont la France, certains déchets sont d'abord retraités : le combustible usé, de type HA, est ainsi séparé en une partie qui peut être réutilisée comme combustible dans certaines centrales (95 %), et en déchets ultimes devant être stockés (5 %). Seules l'usine de La Hague (France) et une usine en Grande-Bretagne peuvent assurer le retraitement des déchets. Pour les déchets non-retraitables et les déchets ultimes, plusieurs voies de gestion sont envisageables. Le stockage en profondeur est à l'étude en France dans un projet appelé Cigéo (Centre industriel de stockage géologique).

Catégories	Déchets à vie très courte	Déchets à vie courte	Déchets à vie longue
Très faible activité	Décroissance radioactive (activité négligeable au bout de quelques années)	Stockage de surface (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage)	TFA
Faible activité		Stockage de surface (Centres de stockage de l'Aube et de la Manche)	FA-VL
Moyenne activité	VTC*		FMA-VC
Haute activité		Non applicable	HA MA-VL

*VTC: vie très courte

6. Avis divergents sur le stockage profond.

Déchets nucléaires
« Cigéo, c'est la plus mauvaise solution car elle n'est pas réversible »

Bernard Laponche, physicien, Libération, 16 avril 2019

Déchets nucléaires: l'enfouissement est « la meilleure solution »

Emmanuelle Wargon, ministre de la Transition écologique, Le Figaro, 25 janvier 2019

AIDE POUR RÉUSSIR LA MISSION

- Listez les accidents survenus depuis le début de la production d'électricité nucléaire (recherche Internet).
- Discutez des difficultés d'établir un bilan humain et matériel de certains accidents (DOCS 1 à 3, recherche Internet).
- Présentez les déchets les plus dangereux et le débat concernant leur gestion (DOCS 4 à 6).

Créativité scientifique, créativité technique et choix énergétiques

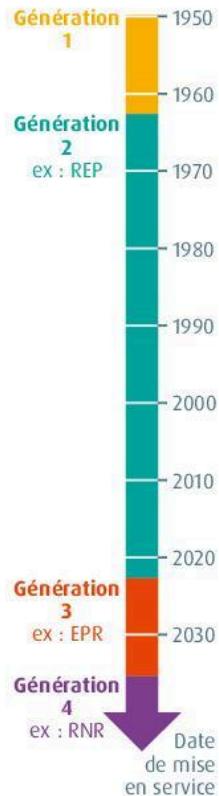
1. Quatre générations de réacteurs nucléaires.

Les réacteurs diffèrent par la technologie en jeu. Il n'y a pas de rupture technologique entre la 2^e et la 3^e génération, mais les réacteurs de 3^e génération ont un meilleur rendement, une production de déchets réduite et une sécurité améliorée.

REP: réacteur à eau pressurisée

EPR: evolutionary power reactor

RNR: réacteur à neutrons rapides



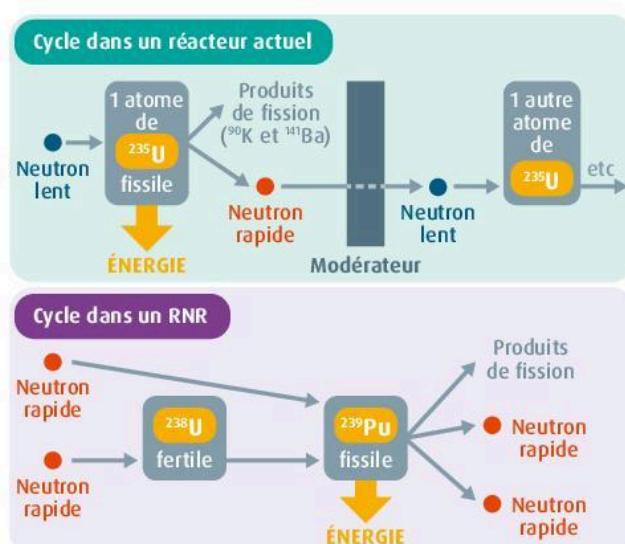
2. Les réacteurs nucléaires dans le monde.

Le modérateur absorbe les neutrons afin de contrôler la réaction. Le caloporeur transporte la chaleur, qui sert à produire de la vapeur pour entraîner une turbine. Le réacteur EPR de Flamanville (France) qui devait être terminé en 2012, n'est toujours pas en service en 2020. Le coût estimé de sa construction est passé de 3,3 milliards d'euros en 2007 à 12,4 en 2019.

Nom / génération	Combustible	Modérateur / caloporeur	Pays	Nombre
Réacteur à eau pressurisée / 2	Uranium enrichi	Eau sous pression ^a / Eau sous pression	Nombreux dont la France	301
Réacteur à eau pressurisée de type EPR / 3	Uranium enrichi	Eau bouillante / Eau bouillante	-	4 en construction
Réacteur à eau bouillante / 2	Uranium enrichi	Eau bouillante / Eau bouillante	États-Unis, Japon, Suède, Finlande, Russie, Suisse	75
Réacteur à eau lourde / 2	Uranium	Eau lourde ^b / Eau lourde	Inde	48
Réacteur gaz-graphite / 2	Uranium enrichi	Graphite / CO ₂	Grande-Bretagne	15
Réacteur de grande puissance à tubes de force / 2	Uranium un peu enrichi	Graphite / Eau	Russie	15
Réacteur à neutrons rapides / 4	Uranium Plutonium	Aucun / Sodium	-	À l'étude

a: L'eau sous une pression de 155 bars est liquide jusqu'à 300 °C.

b: Eau dont les atomes d'hydrogène sont du deutérium dont le noyau contient un proton et un neutron (contre seulement un proton pour l'hydrogène «classique»).



3. Les réacteurs d'essai RNR.

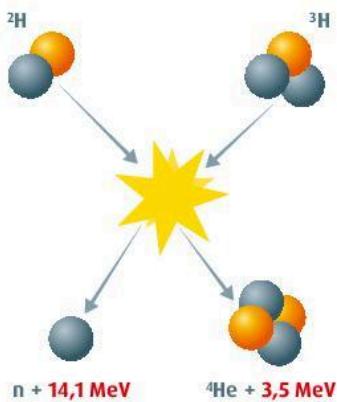
- Dans un réacteur classique, les neutrons émis lors des réactions sont ralentis par un modérateur. Le principe des RNR (réacteurs à neutrons rapides) est de ne pas ralentir les neutrons et de «tapisser» l'extérieur du cœur du réacteur d'une couche de noyaux fertiles: l'uranium 238, composant majoritaire mais inutilisable (car non fissile) de l'uranium naturel. En capturant un neutron, le noyau d'uranium 238 se transforme en noyau fissile.
- L'une des complications des RNR est que le caloporeur est le sodium, un métal très réactif chimiquement. C'est pourquoi des études durent depuis plus de 50 ans dans des réacteurs d'essais.
- En France, plusieurs incidents (fuites et feux de sodium) ont perturbé les essais. Pour des questions scientifiques et techniques, mais aussi en raison de vives oppositions, le RNR Superphénix a été arrêté en 1997 et le projet de RNR Astrid a été abandonné en 2019.

Un débat actuel: L'électricité nucléaire présente des avantages et des inconvénients. Des innovations scientifiques et techniques pourraient-elles permettre de surmonter ces inconvénients?

VOTRE MISSION Organisez un débat, où un groupe défendra les avantages des innovations présentées ici, tandis que l'autre insistera sur les difficultés de leur mise en œuvre.

4. Principe de la fusion nucléaire.

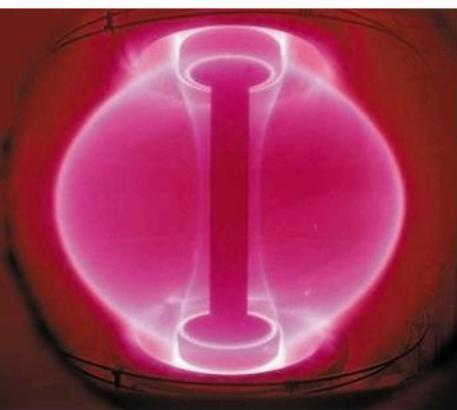
En cassant de gros noyaux (fission), on obtient des noyaux plus petits, dont la masse totale est inférieure à la masse du noyau initial. Lorsqu'on fusionne des noyaux très petits en noyaux plus gros, la masse du noyau produit est inférieure à la masse des noyaux de départ. Dans les deux cas, la différence de masse a été convertie en énergie.



6. Le plasma et son confinement.

Les noyaux atomiques sont chargés positivement. Pour permettre leur fusion, il faut vaincre la répulsion naturelle entre charges positives. Voilà pourquoi la température doit être si élevée dans un réacteur de fusion. La matière est alors un plasma : les électrons et les noyaux sont séparés. Aucun matériau ne résiste dans un tel milieu, donc on envisage de confiner le plasma à l'aide d'un champ magnétique, ce qui est rendu possible par l'existence de charges électriques en liberté dans le plasma. Le dispositif utilisé est appelé Tokamak. Mais les plasmas, même ainsi confinés, sont très instables, c'est pourquoi la technologie associée est

loin d'être maîtrisée. Et le moment où l'on sera capable de récupérer, grâce à la fusion, plus d'énergie que celle nécessaire à créer le plasma est encore lointain.



5. Avantages et inconvénients de la fusion nucléaire.

AVANTAGES

- Deutérium abondant
- Fort rendement énergétique

**500 000 GWh
d'électricité**

(consommation annuelle française)

1250 tonnes d'uranium enrichi
135 millions de tonnes de charbon
12,5 tonnes de combustible de fusion

- Peu polluant
Pas de CO₂, pas de déchets nucléaires HA-VL
- Sûr
Pas de risque d'emballement
⇒ moins de risques d'accident

INCONVÉNIENTS

Température nécessaire:
150 millions de degrés Celsius



7. Le chantier ITER.

Fruit d'une collaboration internationale entre Union européenne, Chine, Suisse, Corée du Sud, Russie, États-Unis et Grande-Bretagne, le projet ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) a été imaginé en 1985. La construction du site a démarré en 2007 dans les Bouches-du-Rhône, la première production de plasma est prévue en 2025 et la première réaction de fusion pour 2035. Il n'est pas prévu qu'ITER produise de l'électricité. L'électricité issue de la fusion n'est pas attendue avant 2040.



AIDE POUR RÉUSSIR LA MISSION

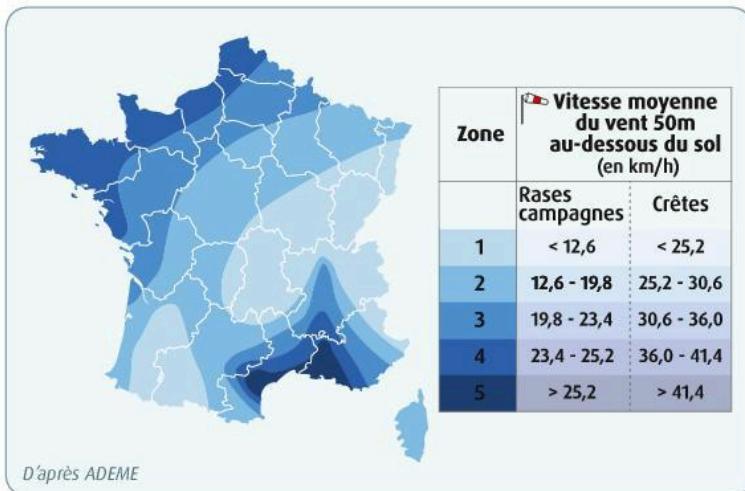
- **Groupe 1:** Rappelez les avantages de l'électricité nucléaire et montrez en quoi les innovations présentées permettent d'en palier certains inconvénients.

- **Groupe 2:** Rappelez les inconvénients de l'électricité nucléaire et montrez les difficultés de mise en œuvre des innovations présentées.

L'énergie éolienne : questions, enjeux, débats

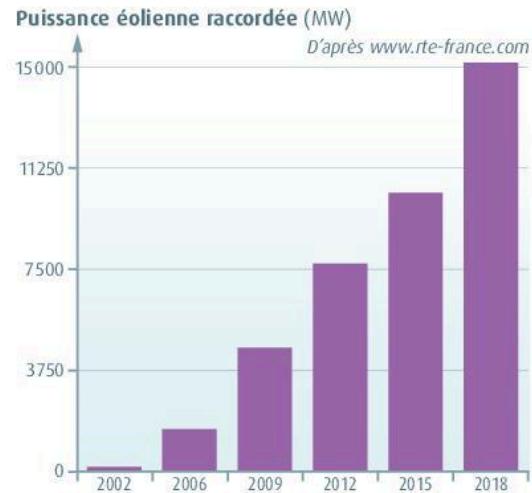
Utilisée depuis des millénaires par les moulins à vents et les bateaux à voile, l'énergie éolienne permet aujourd'hui de produire de l'électricité. De nombreux projets envisagent d'augmenter sa contribution au mix énergétique.

Quels sont les atouts et les difficultés du développement de l'énergie éolienne ?



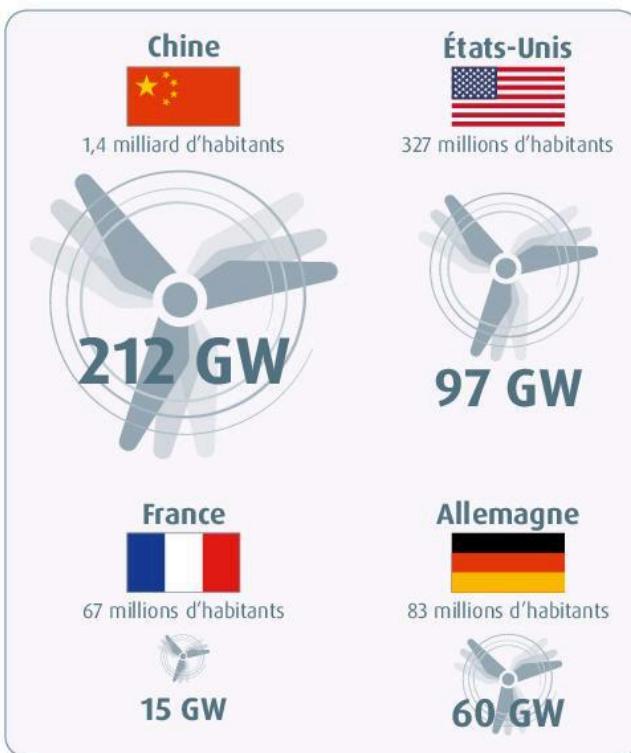
DOC 1 Vitesse moyenne du vent en France métropolitaine.

En apparence, la ressource en vent est gratuite et facile d'accès. La vitesse optimale du vent pour une éolienne productrice d'électricité est d'environ 40 km/h. En dessous de 14 km/h, la production électrique est nulle ; au-dessus de 90 km/h, l'éolienne est automatiquement arrêtée pour éviter que son mécanisme ne soit endommagé.

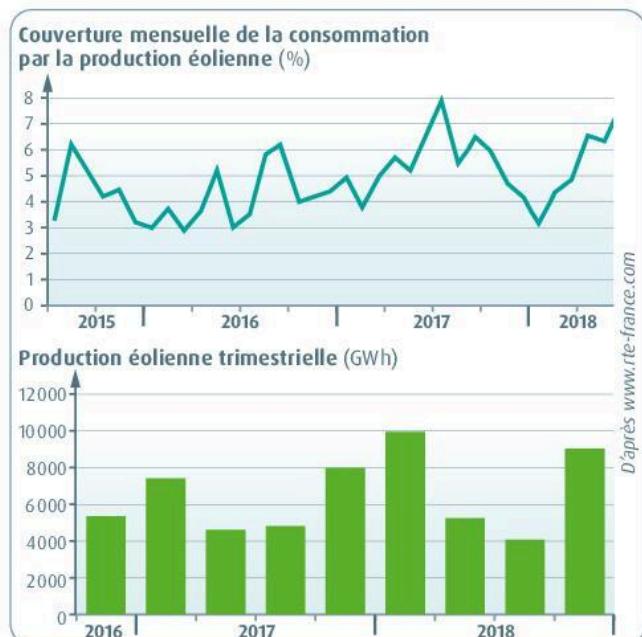


DOC 2 Évolution de la puissance cumulée du parc éolien installé en France depuis 2002.

Chaque éolienne actuellement installée a une puissance maximale de 2 à 3 MW.

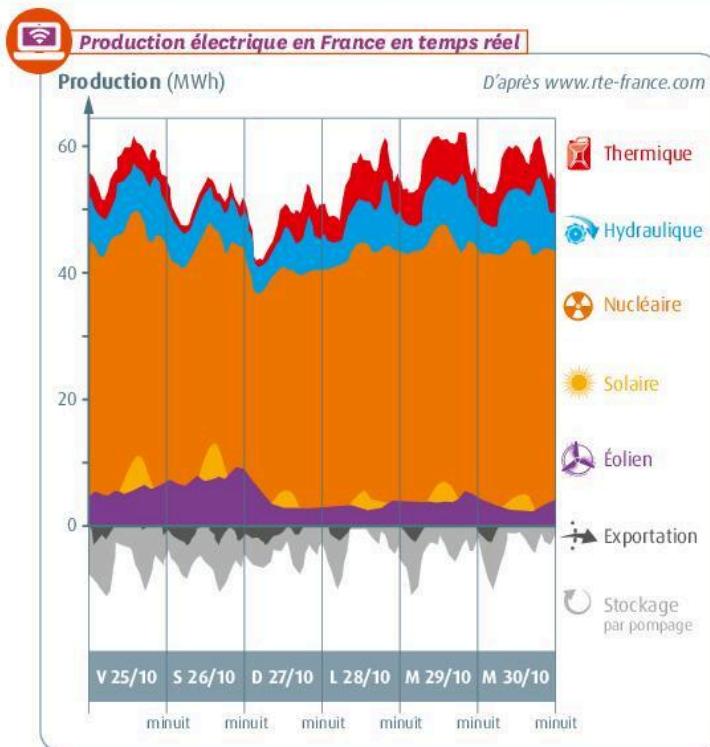


DOC 3 Comparaison de la puissance éolienne de quatre pays en 2019.



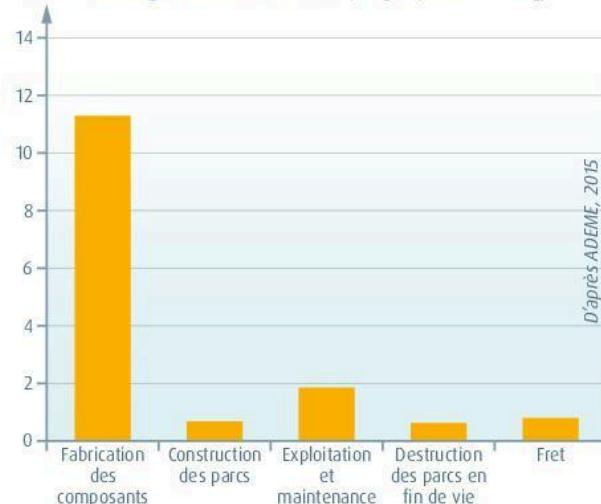
DOC 4 L'énergie éolienne en France (2016-2018) : part de la consommation électrique couverte et production trimestrielle.

Le fait qu'une éolienne ne fonctionne pas en permanence explique qu'elle ne produit qu'une partie de la production électrique pour laquelle elle a été conçue, généralement aux alentours de 20 %.



DOC 5 Détail de la production d'électricité en France entre le 25 et le 30/10/2019.

Émissions de gaz à effet de serre (en g équivalents CO₂)



DOC 6 Émissions de gaz à effet de serre liées à la production d'1 kWh d'électricité éolienne.

La fabrication des constituants, la construction et l'exploitation des éoliennes participe au bilan carbone de l'électricité éolienne. En outre, pour pallier l'intermittence du vent, il faut utiliser en complément une autre source d'énergie, le plus souvent des centrales à gaz ou à charbon, à l'origine d'émissions de CO₂ non comptées ci-dessus.

Caractéristiques

- 80 éoliennes
- Puissance installée de 480 MW
- Couverture de 20 % de la consommation électrique de Loire-Atlantique
- Distance au littoral 12-20 km

Arguments des opposants au projet

- Impact négatif sur la pêche
- Danger ou perturbations pour les oiseaux marins et migrateurs
- Impact négatif sur le tourisme (pollution visuelle)
- Coût trop élevé



DOC 7 Le projet de construction d'éoliennes offshore à Saint-Nazaire (Loire-Atlantique).

Les éoliennes off-shore (en mer) bénéficient de vents plus réguliers et plus importants, réduisent les nuisances visuelles et sonores, mais coûtent jusqu'à 50 % plus cher au moment de l'installation. La réflexion sur le parc éolien de Saint-Nazaire a commencé en 2007. Sa mise en service est prévue pour 2022.

EXPLOITER LES DOCUMENTS TÂCHE COMPLEXE

À l'aide des documents de la double page, expliquez pour quelles raisons l'exploitation d'une ressource gratuite comme le vent a malgré tout un coût financier et environnemental. Votre réponse prendra la forme d'un texte s'appuyant sur des données chiffrées.



ESPRIT CRITIQUE

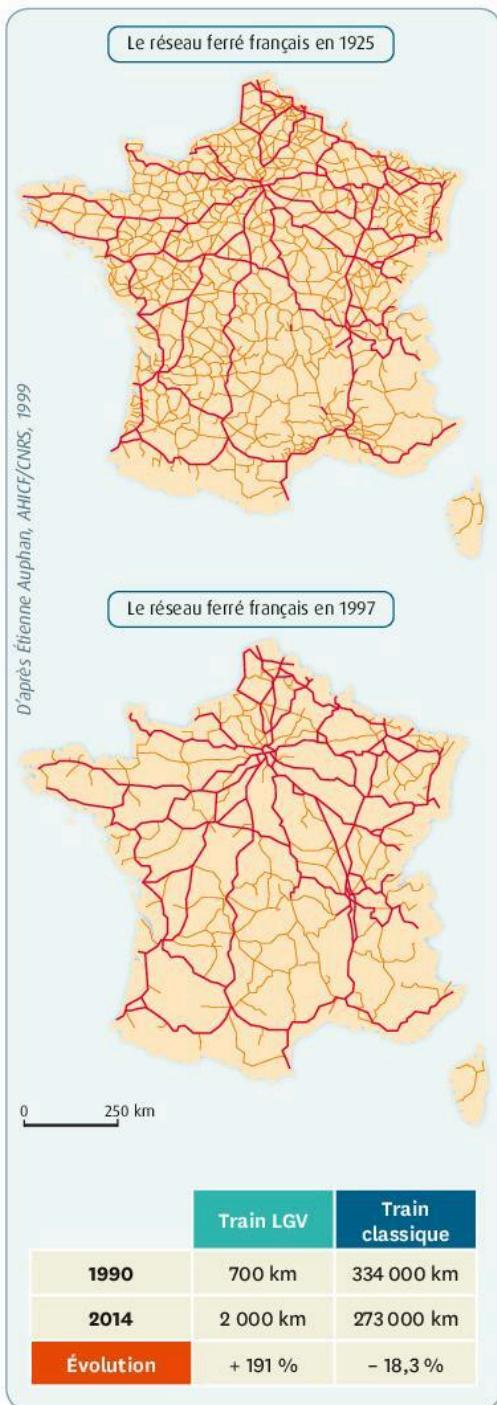
Concernant l'énergie éolienne, mais aussi l'énergie nucléaire, de nombreux espoirs reposent sur des innovations scientifiques et techniques
→ Quels problèmes ces innovations pourraient-elles permettre de résoudre?

Pistes de travail ► UNITÉ 3, p. 172 et recherche Internet

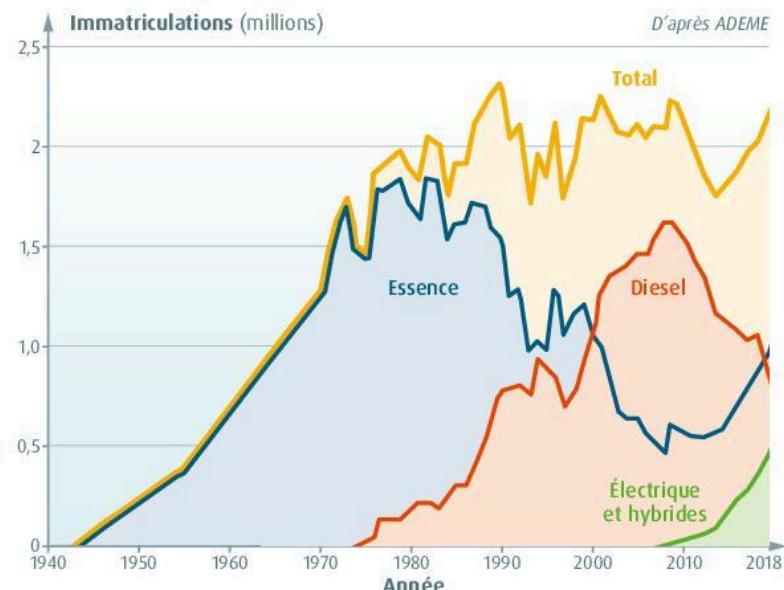
Étude de cas : énergie et déplacements longue distance

Au xx^e siècle, les transports longue distance en train, avion ou voiture ont rendu les voyages plus accessibles. Aujourd’hui, leur empreinte environnementale et la lourdeur des infrastructures associées influencent leur développement à venir.

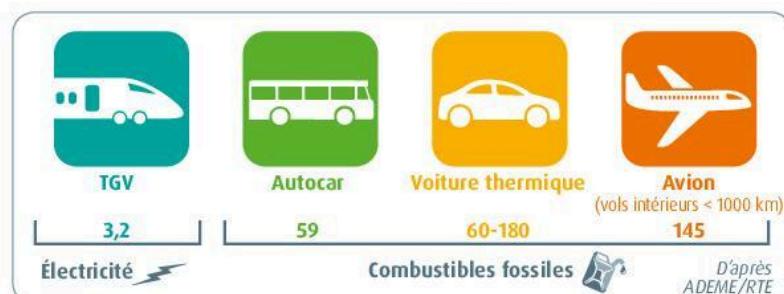
Quels paramètres doit-on prendre en compte pour faire évoluer les transports longue distance vers une plus grande sobriété énergétique ?



DOC 1 Évolution des infrastructures ferroviaires entre 1925 et 1997. Dans le même temps, le réseau autoroutier est passé de 0 à 8 500 km (près de 12 000 km aujourd’hui).



DOC 2 Évolution des immatriculations de voitures particulières en France. Avant qu'une voiture puisse circuler elle doit être immatriculée. Le suivi des immatriculations donne donc une idée du nombre de nouvelles voitures entrant sur le réseau routier chaque année.

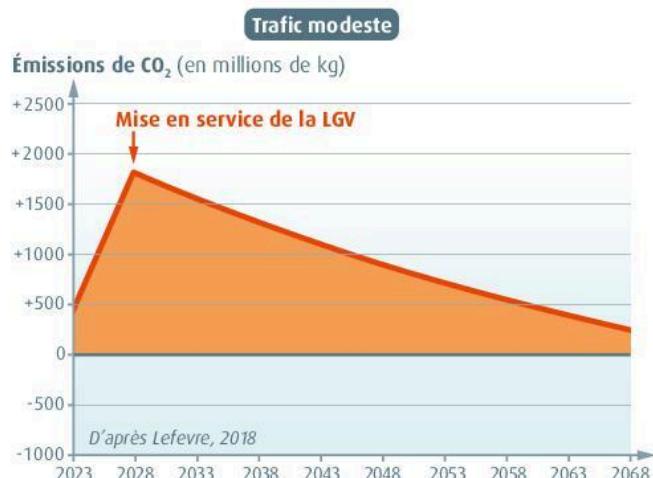
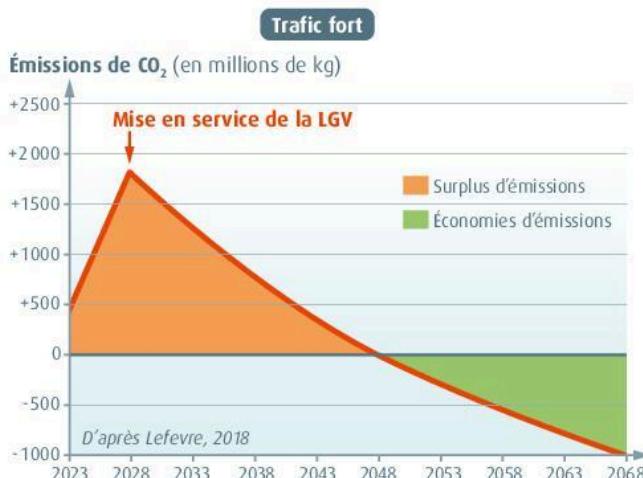


DOC 3 Émissions de CO₂ liées à trois modes de transport

(en gCO₂/km parcouru/passager). L'électricité en France étant produite avec de faibles émissions de carbone (92 % par de l'énergie nucléaire ou des énergies renouvelables), les transports électriques ont de faibles émissions de carbone à l'usage. Mais pour la même consommation électrique, l'émission de gaz à effet de serre (en équivalents CO₂/kWh) serait 10 fois supérieure en Allemagne et 20 fois supérieure en Chine.

Coût en millions d'euros par kilomètre	LGV Paris-Lyon	LGV Méditerranée	Route 2 × 2 voies	Autoroute
	5,5	19,7	5,4	4,9 à 7,6

DOC 4 Les coûts de construction. LGV: ligne ferroviaire à grande vitesse.



DOC 5 Le bilan carbone du projet LGV Bordeaux-Toulouse. La construction de ces 140 km de LGV va provoquer l'émission de 1,2 million de tonnes équivalent CO₂. Une fois en service, la LGV évitera des déplacements routiers ou en avion et permettra ainsi des économies d'émissions de CO₂. Ces économies permettent «d'éponger» les émissions liées à la construction, à une vitesse qui dépend bien sûr de l'importance du trafic passager sur la ligne.



DOC 6 Fabrication de moteurs électriques à l'usine PSA de Tremery (Moselle). Plus grande usine de fabrication de moteurs diesels au monde (jusqu'à 1,5 million par an), elle est en cours de conversion pour la construction de moteurs électriques, qui demandent moins de pièces et moins de main-d'œuvre. Il est donc possible que l'augmentation du nombre de voitures électriques s'accompagne d'une perte d'emplois dans l'automobile. Par ailleurs, les batteries (30 à 50 % du coût d'une voiture électrique) sont aujourd'hui principalement fabriquées en Asie, ce qui pousse les pays européens à développer une industrie de construction de batteries.



DOC 7 Recharge d'un véhicule électrique. Dans le cas d'une électricité entièrement produite par l'énergie nucléaire, en 150 000 km, le véhicule électrique émettra 55 % de CO₂ en moins qu'un véhicule thermique. Mais la fabrication d'un véhicule électrique correspond à 30 % de l'énergie totale consommée par le véhicule au cours de sa vie (fabrication + utilisation), contre 20 % pour un véhicule thermique. Par ailleurs, dans un pays où l'électricité est produite en utilisant davantage les combustibles fossiles, le bilan carbone du véhicule électrique sera alourdi.

EXPLOITER LES DOCUMENTS TÂCHE COMPLEXE



Groupe 1. Montrez que les choix énergétiques concernant les transports longue distance doivent tenir compte de la disponibilité des ressources, des adéquations aux besoins, des impacts climatiques, des coûts économiques et sociaux et des durées longues liées à la construction des systèmes de transports.

Groupe 2. En vous appuyant sur l'exemple des transports, montrez que la transition écologique des sociétés repose sur des nouveaux comportements (individuels et collectifs), et sur l'innovation scientifique ou technique.

ESPRIT CRITIQUE

Bien qu'encore très minoritaire, la voiture électrique voit son développement s'accélérer depuis quelques années.

→ Quels sont les avantages et inconvénients de la voiture électrique ?

Pistes de travail ► DOCS 3, 6 et 7, recherche Internet

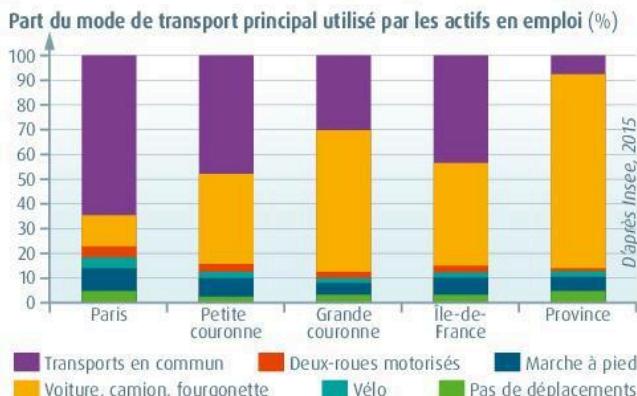
Étude de cas : énergie et déplacements domicile-travail

De nombreux paramètres peuvent déterminer le choix du moyen de déplacement entre le domicile et le lieu de travail.

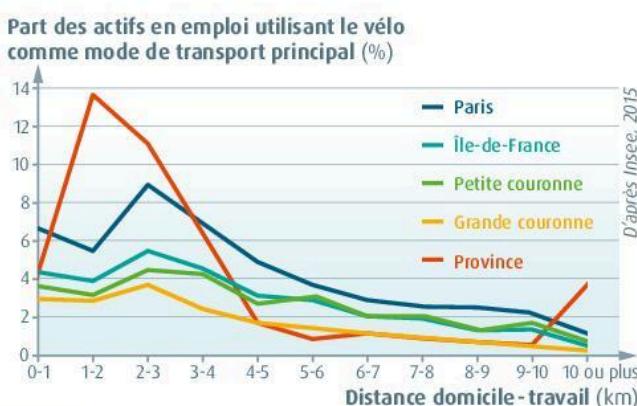
Quels sont ces paramètres et quels sont les impacts énergétiques, environnementaux et économiques des choix effectués ?



DOC 1 Répartition de l'emploi et de la population en Île-de-France en 1968 et en 2006. Dans le détail, les différentes catégories d'emplois ne sont pas uniformément réparties. Ainsi, dans les centres-villes français, on compte 119 emplois de cadre pour 100 cadres résidents et 120 emplois d'employés pour 100 employés résidents. Dans les communes périurbaines françaises (banlieues), on compte 40 emplois de cadre pour 100 cadres résidents et 50 emplois d'employés pour 100 employés résidents.



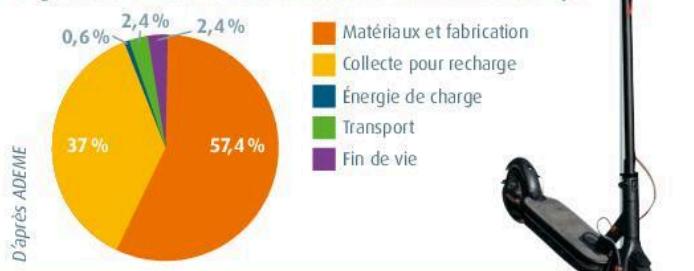
DOC 2 Modes de transport pour les trajets domicile-travail en France (données 2015).



DOC 3 Utilisation du vélo en fonction de la distance domicile-travail en France.



Origine des émissions de GES liées à la trottinette électrique



DOC 4 Bilan carbone de plusieurs moyens de déplacement urbains (données pour Paris). Pour évaluer correctement ce bilan, il est nécessaire d'intégrer l'ensemble des étapes de la vie de l'objet : extraction des matières premières, fabrication, commercialisation, utilisation, destruction. On parle d'**analyse de cycle de vie**.



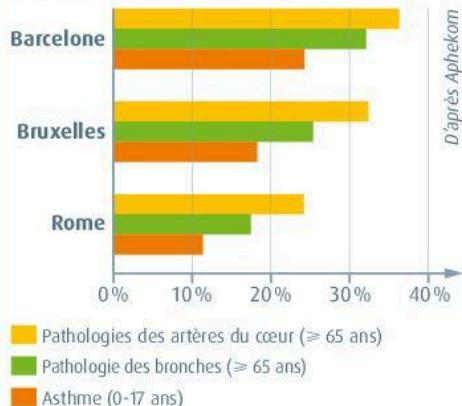
DOC 5 Quelques données sur les trains régionaux de la Sncf en Île-de-France. RER : ligne « Réseau express régional ».

EXPLOITER LES DOCUMENTS TÂCHE COMPLEXE

Montrez que de multiples paramètres doivent être pris en compte pour analyser les déplacements domicile-travail, puis discutez des impacts énergétiques, environnementaux et économiques des différents modes de déplacement.



% de la population atteinte de pathologies qui pourraient être liées au fait de résider près d'un axe de grande circulation



Gain d'espérance de vie (en mois) si les niveaux annuels moyens de particules fines de moins de $2,5 \mu\text{m}$ étaient ramenés à la valeur maximale préconisée par l'OMS ($10 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$). Le niveau de particules fines mesuré est indiqué en rouge.



DOC 6 L'impact sanitaire de la pollution liée au trafic routier. Dans le cadre du projet Aphékom, 60 scientifiques de 12 pays européens ont travaillé pour étudier les impacts de la pollution de l'air sur la santé dans 25 villes européennes.

ESPRIT CRITIQUE

La trottinette électrique s'est développée très rapidement dans les villes ces dernières années.

→ Peut-on dire de la trottinette électrique que c'est un moyen de déplacement urbain « vert » ?

Pistes de travail ► DOC 4 et UNITÉ 4

BILAN

CHOIX ÉNERGÉTIQUES ET IMPACTS SUR LES SOCIÉTÉS



1. Des choix concernant le mix énergétique

- En France, dans les années 1960, le choix a été fait de privilégier l'**énergie nucléaire** pour la production d'électricité. Elle couvre environ 72 % des besoins. Une centrale nucléaire peut produire de grandes quantités d'énergie avec peu d'uranium et émet très peu de CO₂. Cependant l'énergie nucléaire pose le problème de la gestion des déchets radioactifs de haute activité et longue durée de vie, des risques en cas d'accident majeur (impact sanitaire et écologique) et du coût de démantèlement des centrales en fin de vie (impact économique). > **Unités 1 à 3**
- En Allemagne, l'arrêt progressif des centrales nucléaires augmente la part des ressources fossiles (impact climatique et écologique) qui devraient être progressivement remplacées par des énergies renouvelables. Ainsi, l'électricité d'origine éolienne connaît une augmentation rapide en Allemagne et dans le reste du monde. Cette électricité a une faible **empreinte carbone** et produit peu de déchets. Cependant, elle doit être couplée à des centrales à charbon ou à gaz qui compensent la production électrique en cas d'insuffisance de vent. Par ailleurs, la dispersion des éoliennes a un impact important sur le paysage. > **Unités 1 et 4**
- Ces exemples montrent que l'impact climatique, la disponibilité des ressources, la gestion des risques et la capacité à répondre aux besoins sous-tend la prise de décision en matière de **transition énergétique**, c'est-à-dire d'évolution du **mix énergétique**.

2. Énergie et déplacements longue distance

- Les trajets longue distance utilisent deux sources principales d'énergie : carburants issus du pétrole (voiture individuelle, autocar, avion) ou électricité (train et voiture pour l'essentiel). En France, les trajets longue distance sont dominés par les voitures individuelles, exclusivement thermiques jusqu'au début des années 2000. Depuis, la part des voitures électriques augmente, mais leur généralisation impliquerait l'adaptation des infrastructures (réseau électrique pour les recharges, modification des usines de fabrication). L'empreinte carbone de la voiture électrique dépend de sa fabrication (30 % de son empreinte totale) et de l'origine de l'électricité qu'elle utilise.
- L'empreinte carbone du train est bien plus faible que celle des transports utilisant les combustibles fossiles. Toutefois, la réalisation des voies ferrées est coûteuse, a une forte empreinte carbone et est longue : les bénéfices du choix de développer des transports ferrés se font donc sentir avec retard (inertie). > **Unité 3**

3. Énergie et déplacements domicile-travail

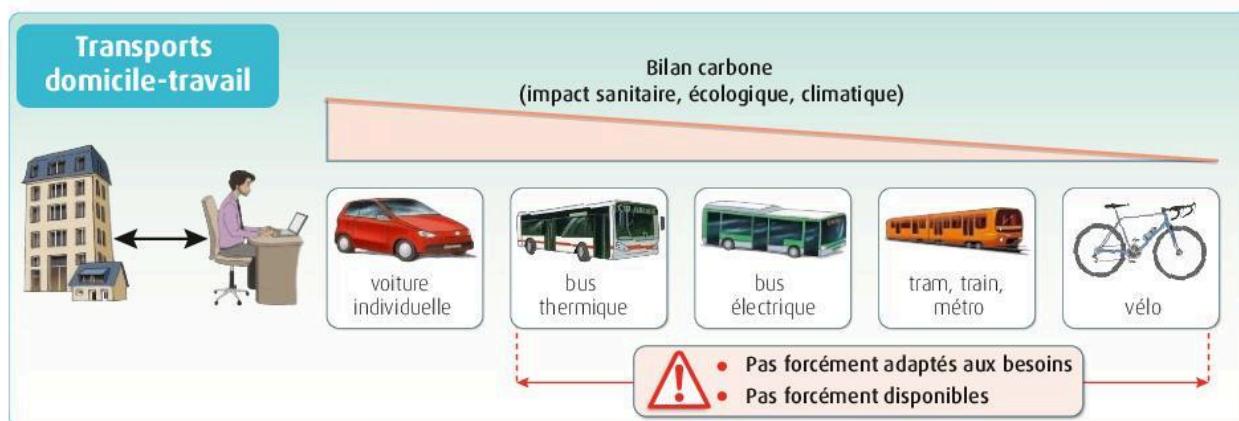
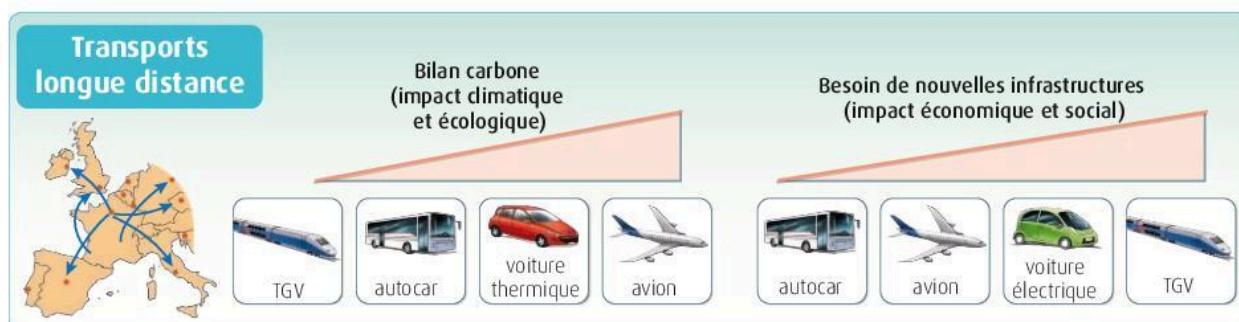
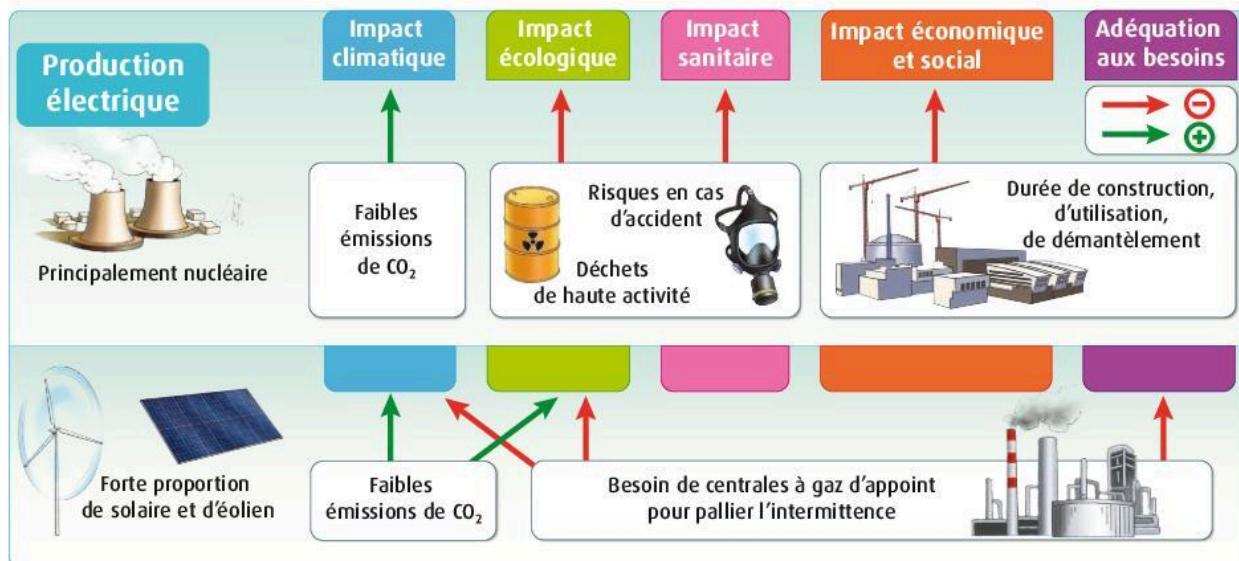
- Au quotidien, les moyens de transports sont principalement utilisés pour les trajets domiciles-travail. Le type de moyen de transport utilisé dépend en particulier de la distance entre les zones résidentielles et les lieux de travail, de la disponibilité de transports en commun et de la distance à parcourir.
- Pour évaluer l'empreinte carbone et le bilan énergétique d'un moyen de transport, il faut prendre en compte son taux de remplissage et l'**analyse de son cycle de vie**. Ainsi, une voiture thermique avec trois passagers a le même bilan carbone qu'une trottinette électrique. > **Unité 4**

Les mots-clés du chapitre

- **Énergie nucléaire** : Énergie tirée de la fission d'atomes tels que l'uranium 235 (²³⁵U) ou le plutonium 239 (²³⁹Pu).
- **Empreinte carbone** : 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.
- **Transition énergétique** : Modification des modes de production et de consommation d'énergie. Elle s'accompagne d'une évolution du mix énergétique.
- **Mix énergétique** : Ensemble des sources d'énergie primaire utilisées dans un lieu donné (ville, région, pays, continent, planète entière).
- **Analyse du cycle de vie** : 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.

Pour bien comprendre

- La transition énergétique est un des volets de la transition écologique. Elle repose sur la créativité scientifique et technologique, comme sur l'invention de nouveaux comportements individuels et collectifs (consommations, modes de déplacement, etc.).

l'essentiel par l'image**Schéma interactif****Des critères de choix énergétiques multiples****Des conséquences pour la transition écologique**

- Diversification des mix énergétiques

- Adaptation des comportements individuels et collectifs

- Innovation scientifique & technique

Mémoriser son cours

Exercices corrigés



Pour mémoriser l'essentiel du cours, posez-vous régulièrement ces questions et vérifiez vos réponses.

1. Savez-vous définir la notion de « mix énergétique » ?
2. Pour la production d'électricité, quels sont les avantages et les inconvénients d'un mix énergétique où l'énergie nucléaire est très largement majoritaire ?
3. Pour la production d'électricité, quels sont les avantages et les inconvénients d'un mix énergétique où l'énergie nucléaire est totalement absente ?
4. Quels sont les avantages et inconvénients d'une source d'énergie renouvelable telle que l'énergie éolienne ?
5. Pourquoi l'impact carbone des énergies renouvelables n'est-il pas nul ?
6. Pouvez-vous donner au moins deux raisons expliquant pourquoi les durées nécessaires à une transition énergétique sont globalement longues ?

Pour s'échauffer

Exercices interactifs corrigés



1 QCM

Pour chaque proposition, identifiez la (ou les) bonne(s) réponse(s).

1. L'énergie nucléaire:

- a. est une énergie renouvelable.
- b. permet de produire l'essentiel de l'électricité en France.
- c. a un bilan carbone plus faible que les combustibles fossiles.
- d. n'est pas dénuée de risques.

2. L'énergie éolienne:

- a. est une énergie dont la disponibilité est irrégulière.
- b. est une énergie renouvelable.
- c. a un bilan carbone nul.
- d. peut avoir localement un impact environnemental négatif.

3. L'ordre de grandeur du coût de construction d'une ligne de train à grande vitesse est de :

- a. quelques millions d'euros.
- b. quelques dizaines de millions d'euros.
- c. quelques centaines de milliers d'euros.
- d. quelques milliards d'euros.

4. Le bilan carbone des trottinettes électriques :

- a. est nul.
- b. provient de leur utilisation.
- c. provient de leur fabrication.
- d. est comparable à celui d'une voiture à 3 passagers.

5. L'innovation scientifique et technique en matière d'énergie nucléaire concerne :

- a. La gestion des déchets radioactifs.
- b. La fusion nucléaire.
- c. La maîtrise des risques d'accident.
- d. La réduction de la part de l'énergie nucléaire dans le mix énergétique.

6. La voiture électrique :

- a. aura un bilan carbone plus défavorable si elle est utilisée en Allemagne que si elle est utilisée en France.
- b. a un bilan carbone plus défavorable lorsqu'elle sort de l'usine qui l'a fabriquée, qu'une voiture diesel neuve.
- c. ne pose qu'un seul problème : son manque d'autonomie.
- d. ne change rien à la qualité de l'air en ville.

7. Concernant la transition énergétique, l'innovation scientifique et technique :

- a. permet de prendre en compte les leçons tirées d'accidents nucléaires majeurs.
- b. est devenu une priorité dès le début du xx^e siècle.
- c. implique des investissements financiers conséquents.
- d. permettra de consommer moins d'énergie sans modifier nos comportements.

8. Concernant les transports :

- a. le bilan carbone d'une ligne de train dépend du nombre de passagers qu'elle transporte chaque année.
- b. la voiture électrique a une empreinte carbone nulle.
- c. la transition vers des modes de transport ayant moins d'impact environnemental est nécessairement lente.
- d. pour les trajets quotidiens, le vélo est le mode de transport privilégié en dehors des centres urbains.

9. Concernant l'électricité d'origine éolienne :

- a. sa production croît de façon continue depuis les années 2000.
- b. sa production est continue au cours d'une journée.
- c. elle a un bilan carbone nul si on ne prend en compte que son fonctionnement.
- d. il s'agit de courant continu.

2 Qui suis-je ?

1. Je suis le nom que l'on donne à la répartition des différentes sources d'énergie primaire utilisées par un pays ou une région du monde.
2. Je suis une source d'énergie que l'on peut trouver partout à la surface de la Terre mais dont la régularité est imprévisible.
3. Je suis une unité qui permet de mesurer les effets sur l'organisme de la radioactivité.
4. Je suis une unité qui permet de quantifier le rayonnement radioactif émis.
5. Je suis une source d'énergie nucléaire produisant beaucoup d'énergie et peu de déchets, mais qui n'est pas encore au point.

3 Raisonner

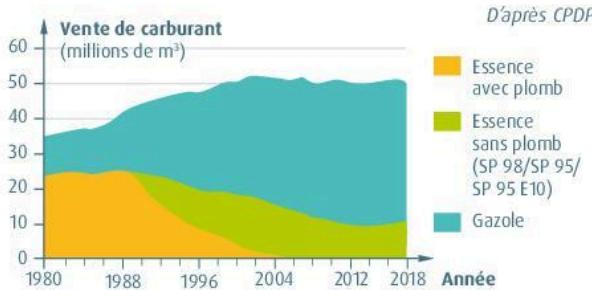
L'infographie ci-dessous se fonde sur des données publiées par l'Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie).



1. Justifiez le message.
2. Expliquez quelles conséquences il est possible d'en tirer en terme de comportement individuel.

4 Calculer des ordres de grandeur

Le graphique ci-dessous présente l'évolution des ventes de carburants routiers en France métropolitaine de 1980 à 2018.



1. Calculez la part du gazole et celle de l'essence dans les ventes totales en 1980, 1990, 2000, 2010 et 2018.
2. Calculez la part des essences sans plomb dans les ventes totales d'essence en 1980, 1990, 1996 et 2000 et 2006.

5 Réponse courte

En ville, l'empreinte carbone par kilomètre parcouru d'un passager prenant le bus est plus importante dans un bus de nuit que dans un bus pris à une heure de pointe.

Question: Comment peut-on expliquer cette différence ?

6 Réponse courte

Commentez l'affirmation suivante : « Si un objet a une empreinte carbone importante lors de sa fabrication et faible pendant son usage, il est nécessaire qu'il ait une durée d'utilisation longue. »

7 Calculer et raisonner

Le graphique ci-dessous, publié en 2019, décrit la mobilité, la consommation d'énergie et le bilan carbone des ménages en France pour leurs achats alimentaires et la restauration hors domicile (RHD).



D'après ADEME, 2019

1. Sans calculatrice, donnez un ordre de grandeur de la part des moyens de déplacement fonctionnant à l'énergie musculaire utilisés pour les achats alimentaires.
2. À partir du graphique, proposez plusieurs mesures qui permettraient aux ménages de diminuer leur consommation d'énergie.

8 Argumenter

La ligne de tramway 3a, inaugurée en 2006 à Paris, a marqué le retour de ce moyen de transport dans la capitale après 69 ans d'absence. Elle a remplacé la ligne d'autobus PC (« petite ceinture »).



- Durée du chantier: trois ans.
- Coût: 230 millions d'€ (construction) + 69 millions d'€ (matériel roulant)

	Nbre de passagers transportés	Vitesse moyenne
Bus PC	1500 /heure	14,5 km/h
Tramway 3a	4500 /heure	18 km/h

Question: À partir de ces données, discutez des avantages et des inconvénients d'un moyen de transport comme le tramway.

Exercice résolu Méthode

9 Réaliser des graphiques à l'aide d'un tableau PIX

La consommation énergétique pour le chauffage en France

On cherche à visualiser à l'aide d'un tableau comment a évolué la consommation énergétique pour le chauffage dans les habitations en France de 1982 à 2018.

On dispose des données brutes fournies par le service statistique du ministère du développement durable.

Fichier Excel

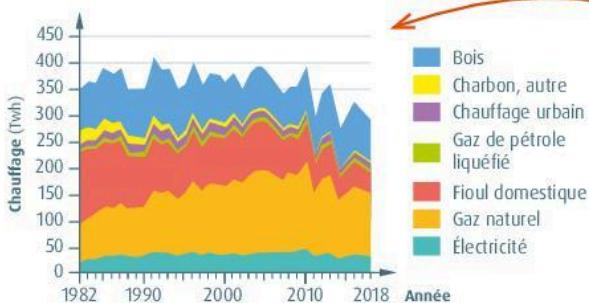


Chauffage (en TWh)	Année	1982	1983	...	2015	2016
Électricité		22,4	27,8	...	33,0	36,6
dont pompe à chaleur	n.d.	n.d.	...	n.d.	4,6	
Gaz naturel		73,9	79,9	...	121,8	132,0
Fioul domestique		135,4	129,9	...	45,8	46,0
Gaz de pétrole liquéfié		6,5	6,7	...	3,3	3,5
Chauffage urbain		8,3	10,0	...	12,7	14,1
Charbon, autres		25,4	23,1	...	2,4	2,7
Bois		80,1	85,2	...	84,9	91,8
Pompe à chaleur		n.d.	n.d.	...	n.d.	9,3
Total*		344,6	354,7	...		

QUESTIONS

1. Représentez sous la forme graphique appropriée l'évolution de la consommation d'énergie pour le chauffage.
2. Représentez sous la forme graphique appropriée l'évolution des proportions de chaque mode de chauffage.
3. Comparez sous la forme graphique appropriée le pourcentage de chauffage au gaz, au bois, au fioul et à l'électricité en 1982, 1990, 2000, 2010 et 2018.

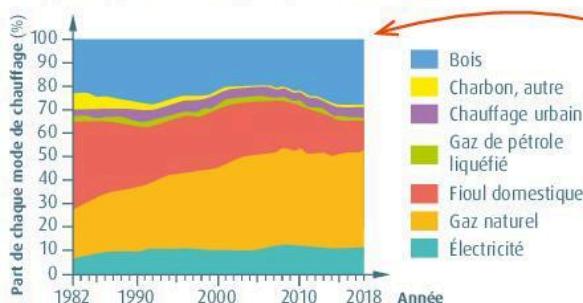
RÉSOLUTION



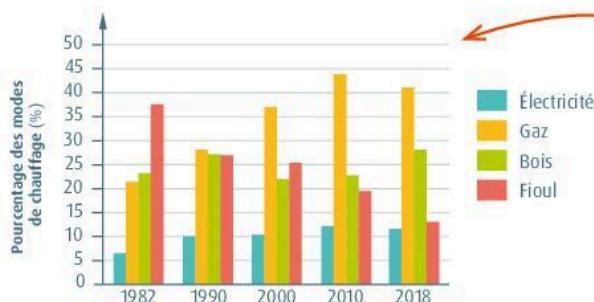
DOC 1 Consommation énergétique du secteur résidentiel en France par type de chauffage de 1982 à 2018 (extrait des données).

D'après statistiques.developpement-durable.gouv.fr

- L'évolution d'une variable continue (consommation d'énergie par le chauffage) sera visualisée par une courbe.
- Une courbe en « aires empilées » permettra de visualiser en outre l'importance relative de chacun des modes de chauffage.
- Le sommet de la courbe permettra de visualiser la consommation totale d'énergie pour le chauffage.
- Aide pour l'utilisation d'un tableur grapheur p. 318.



L'évolution de proportions sur un intervalle continu (ici, les années se suivent sans interruption) peut être visualisée avec une courbe en aires empilées «100 %». Le tableur calcule automatiquement, pour chaque année, le pourcentage que représente chaque mode de chauffage.



- L'histogramme permet de comparer efficacement différentes catégories.
 - Il faut programmer le tableur pour calculer chaque pourcentage.
Par exemple :
- $$\% \text{bois}_{1982} = \frac{(\text{énergie chauffage bois})_{1982}}{(\text{énergie chauffage total})_{1982}} \times 100$$
- Note : on observe la diminution de l'utilisation du fioul et l'augmentation de celle du gaz.

Exercices d'application Méthode

10 Réaliser des graphiques à l'aide d'un tableau PIX

Le volume des déchets nucléaires en France

Le 23 mars 2019, un grand quotidien national a publié un article titré : « 648 piscines olympiques de déchets nucléaires en France. » Les données ci-dessous sont issues d'un rapport de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) publié en 2019.



DOC 1 **Une piscine olympique.** La piscine doit avoir une profondeur comprise entre 2 et 3 mètres.
Volume pour profondeur de 3 mètres : 3750 m³.

Type de déchets	Volume (en m ³)	Radioactivité (en % de la radioactivité totale)	
HA	Haute activité	3740	94,9 %
MA-VL	Moyenne activité – vie longue	42 800	4,9 %
FA-VL	Faible activité – vie longue	93 600	0,14 %
FMA-VC	Faible ou moyenne activité – vie courte	938 000	0,03 %
TFA	Très faible activité	537 000	0,0001 %

DOC 2 Volume et activité radioactive des différentes classes de déchets radioactifs. Données à fin 2017 (volume) et fin 2016 (radioactivité).

Scénario	Description	Volume de déchets HA (en m ³)
SR1	Renouvellement du parc électronucléaire par des réacteurs EPR puis RNR	12000
SR3	Renouvellement du parc électronucléaire par des réacteurs EPR uniquement	9400
SNR	Non renouvellement du parc électronucléaire	4200

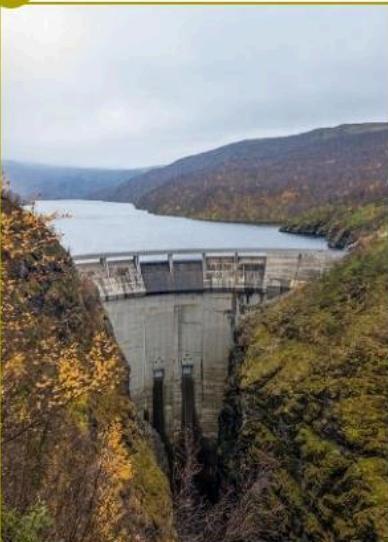
QUESTIONS

1. Représentez à l'aide d'un tableau et sous la forme graphique de votre choix :
 - le volume des différents types de déchets, en proportion et en valeur absolue
 - la radioactivité associée aux différents types de déchets, en proportion
 - le volume des déchets type « HA » et dans les différents scénarios
2. Calculez le nombre de piscines olympiques occupées par les déchets « HA » fin 2016 et « à terminaison » dans les différents scénarios.
3. Critiquez le titre de l'article.

DOC 3 Volume de déchets nucléaires de type HA à terminaison dans différents scénarios. « À terminaison » signifie « à la fin du démantèlement des installations nucléaires lorsqu'elles seront en fin de vie ».

Tester ses compétences

11 Analyser des documents et raisonner



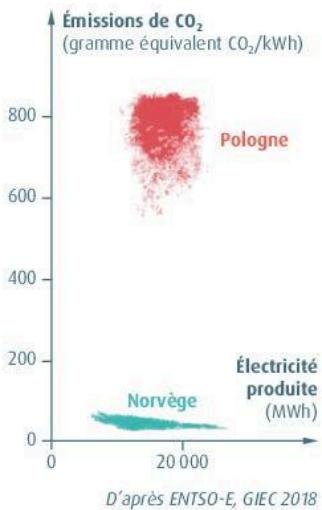
DOC 1 Barrage hydroélectrique d'Alta en Norvège.

La production électrique en Pologne et en Norvège

La Norvège est le pays qui produit la plus grande part d'électricité par l'énergie hydroélectrique (95%). La Pologne est le pays d'Europe disposant des plus importantes réserves de charbon, dont il est 10^e producteur mondial.

DOC 2 Production d'électricité et émissions de CO₂ associées durant l'année 2018.

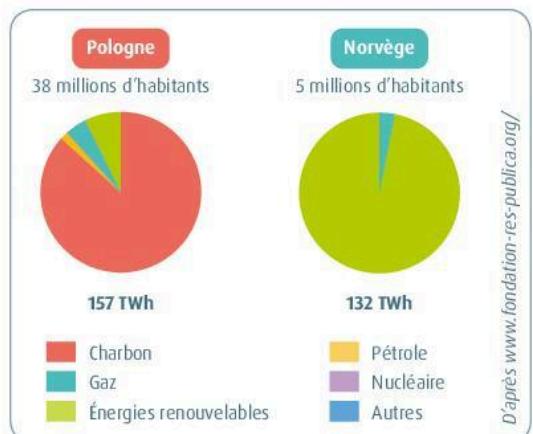
Chaque point représente une heure de production électrique, positionnée suivant la quantité d'énergie produite et la quantité de CO₂ émise. L'étalement horizontal représente la variation de la production au cours de l'année 2018. L'étalement vertical représente la variation des émissions de CO₂ de cette production.



DOC 3 Mix énergétique de la Pologne et de la Norvège pour la production d'électricité.

QUESTIONS

1. Décrivez les caractéristiques de la production électrique (énergie produite et émission de carbone) pour la Pologne et pour la Norvège.
2. Proposez des explications aux différences observées entre les deux pays.



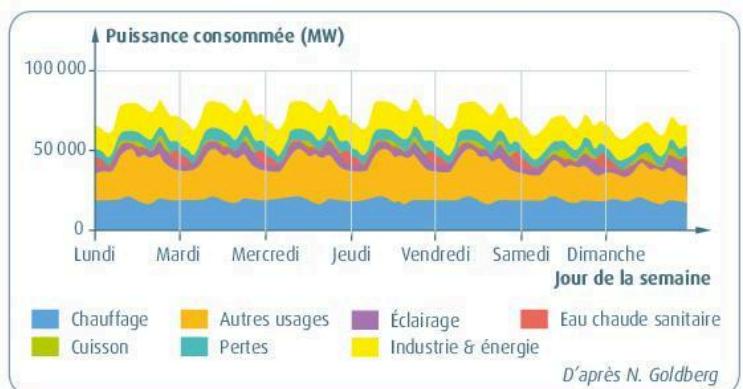
12 Analyser des documents et raisonner

L'utilisation de l'électricité sur une semaine

Pour produire l'électricité lors des pics de demande, il est souvent nécessaire de mobiliser des centrales à charbon d'appoint.

QUESTIONS

1. Décrivez et interprétez la courbe.
2. Après avoir rappelé les conséquences environnementales de l'électricité à partir de charbon, proposez des pistes pour réduire le recours à ce type de centrale.

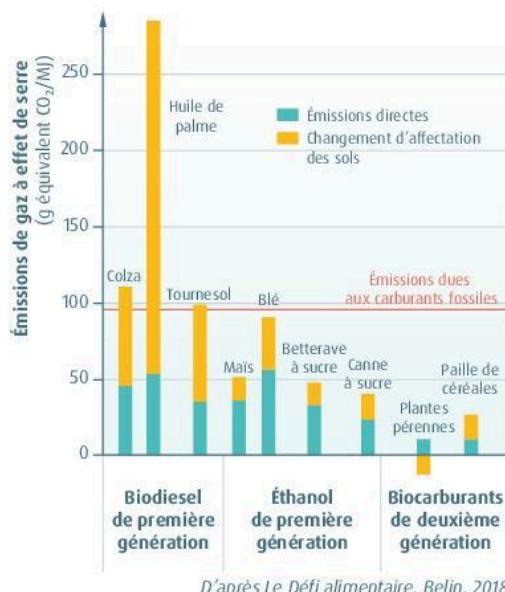


DOC 1 Consommation d'électricité par usage lors d'une semaine type du mois de janvier en France.

13 Raisonner et argumenter

Bilan carbone des biocarburants

Les plantes agricoles peuvent être utilisées pour produire des carburants appelés biocarburants. Pour déterminer leur bilan carbone, les auteurs d'une étude publiée en 2016 ont pris en compte les émissions directes (culture, transport et transformation des plantes agricoles) et le changement d'affectation des sols lorsque la culture de plantes pour les biocarburants implique la destruction d'une forêt ou d'une prairie.



DOC1 Forêt et plantations de palmiers à huile en Indonésie.

Quand ils sont convertis en culture, les sols d'une forêt ou d'une prairie émettent des gaz à effet de serre, à partir de la matière organique qu'ils contiennent.

DOC2 Émissions de gaz à effet de serre pour 1 MJ produit par différents biocarburants.

Pour comparaison, les émissions moyennes dues aux carburants fossiles sont indiquées par une ligne rouge horizontale.

QUESTIONS

1. Décrivez puis interprétez le bilan carbone des biocarburants, d'abord en ne tenant compte que des émissions directes, puis en intégrant le changement d'affectation des sols.
2. Imaginez qu'il soit décidé de produire des biocarburants à grande échelle sans changements d'affectation des sols, c'est-à-dire sur des zones déjà cultivées. Déterminez les conséquences positives et négatives à attendre d'une telle décision.

14 Raisonner et argumenter

Le mix énergétique européen

La carte ci-contre présente le mix énergétique de quatre pays d'Europe pour la production d'électricité.

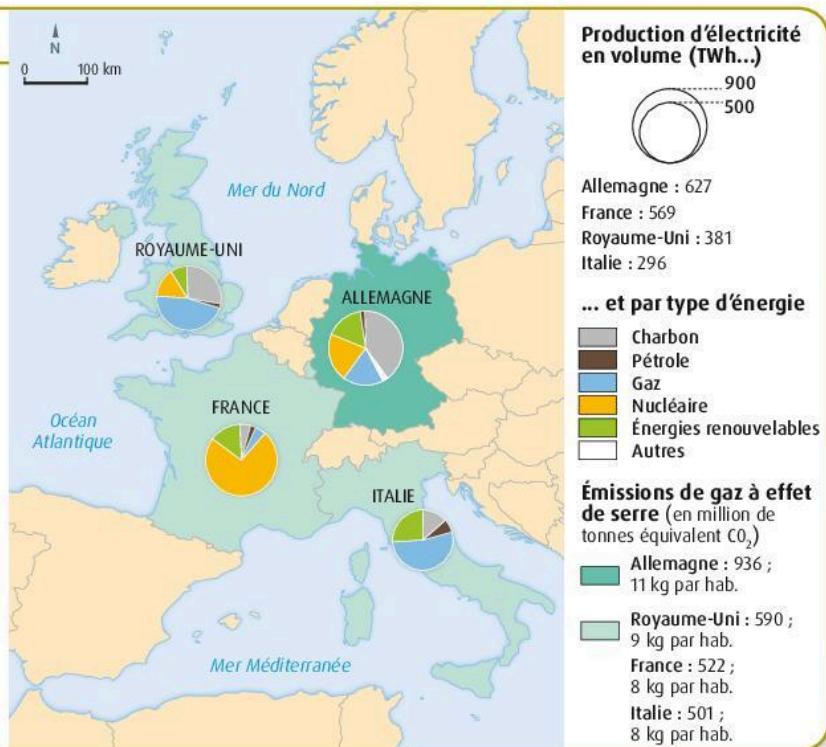
QUESTIONS

1. Comparez le mix énergétique de chaque pays.
2. Proposez des explications aux différences observées.

AIDE

- Pensez-vous que les différences s'expliquent plutôt par des facteurs naturels ou par des facteurs politiques ?

D'après www.fondation-res-publica.org



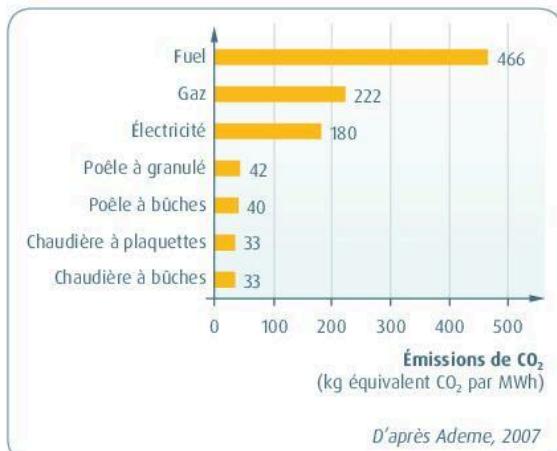
15 Analyser des documents et calculer

Empreinte environnementale de la biomasse

La combustion de la biomasse (de la matière organique généralement végétale) produit de l'énergie thermique qui peut être utilisée pour du chauffage ou de la production électrique. Aujourd'hui en France, on considère que l'on exploite environ 50 % de l'accroissement biologique annuel des forêts et qu'il serait possible sans risque d'aller jusqu'à 75 %. Le nombre d'arbres sur le territoire français et la biomasse que l'on pourrait en tirer restent toutefois limités.



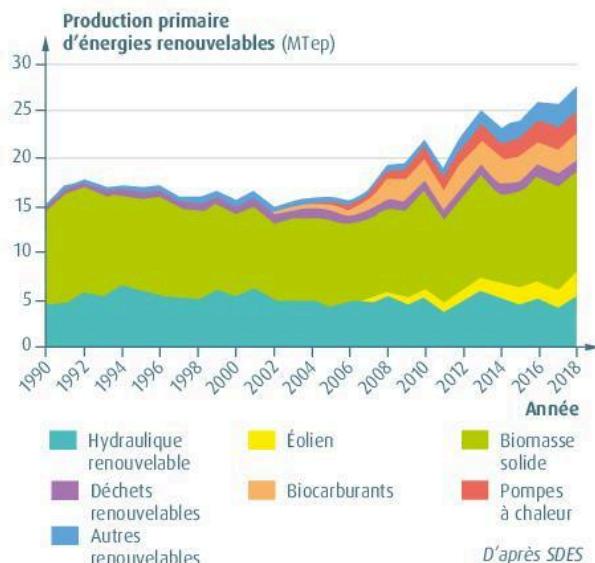
DOC 1 Bûches, plaquettes de bois et granulés de bois. Rendement énergétique: 65 % pour un poêle à bûches, 85 % pour un poêle à granulés; 75 % pour une chaudière à plaquettes.



DOC 3 Émissions de gaz à effet de serre liés à quelques modes de chauffage domestique.

QUESTIONS

- Rappelez l'origine de l'énergie contenue dans la biomasse.
- Montrez que l'on peut considérer l'énergie produite par la biomasse comme une énergie renouvelable.
- Pour le chauffage domestique, comparez les différentes sources d'énergie présentées dans le **DOC. 4** du point de vue de leurs émissions carbone et de leur contribution à la pollution atmosphérique.
- Calculez combien de joules on peut produire avec chaque source d'énergie du **DOC. 4** (a) si l'on veut limiter les émissions de particules fines à 50 g; (b) si l'on veut limiter les émissions de SO₂ à 200 g.
- À l'intention d'un foyer qui hésite à se chauffer au bois, récapitulez les avantages et les limites de ce mode de chauffage.



DOC 2 Évolution de la production primaire d'énergies renouvelables en France entre 1990 et 2018.

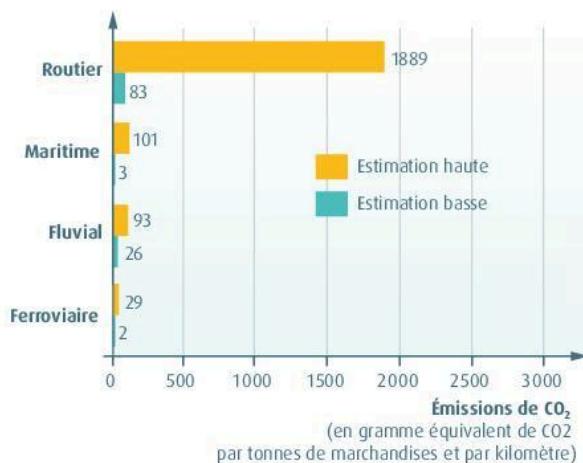
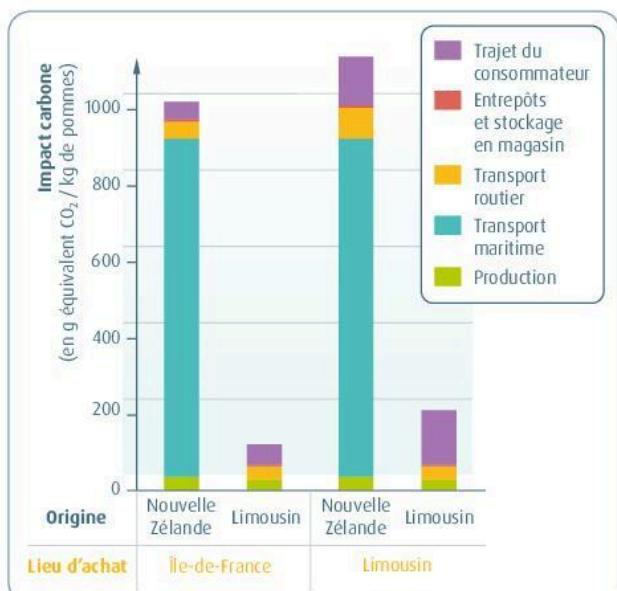
	Charbon	Fuel domestique	Gaz naturel	Bois
SO ₂ (g·GJ ⁻¹)	618	95	0,5	20
NO et NO ₂ (g·GJ ⁻¹)	160	100	60	200
CO (g·GJ ⁻¹)	200	15	19	250
Particules fines (g·GJ ⁻¹)	100	3	0	40
Composés organiques volatiles (g·GJ ⁻¹)	15	1,5	4	4,8
Dioxines (ng·GJ ⁻¹)	3,9	0	0	40
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (mg·GJ ⁻¹)	1920	0	0	8000

DOC 4 Comparaison des émissions de polluants pour quelques sources d'énergies utilisées dans le chauffage individuel ou collectif.

16 Analyser des documents et calculer

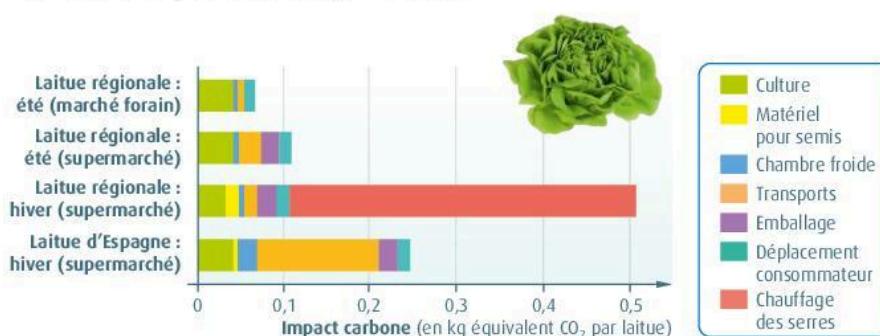
Empreinte environnementale des fruits et légumes consommés en France

À partir du producteur, les fruits et légumes peuvent utiliser de nombreux moyens de transport pour voyager jusqu'au magasin. Ensuite, pour leurs achats alimentaires, en moyenne, les Français réalisent 8 km en voiture jusqu'à des grandes surfaces (supermarché, hypermarché).



DOC 1 Émissions de gaz à effet de serre liée à l'achat de différentes pommes achetées dans différents supermarchés en France. On trouve des pommes originaires de France de septembre à juin et 90 % des importations de l'hémisphère sud (Nouvelle-Zélande et Chili principalement) s'effectuent de janvier à août.

DOC 2 Émissions de CO₂ en fonction du mode de transport. Les variations du transport routier sont liées au taux de remplissage des véhicules et au type de véhicules utilisés (poids lourds, utilitaires, voiture individuelle).



DOC 3 Analyse cycle de vie d'une laitue consommée en Allemagne.

Docs 1, 2 et 3 modifiés d'après Le Défi alimentaire, Belin, 2018

QUESTIONS

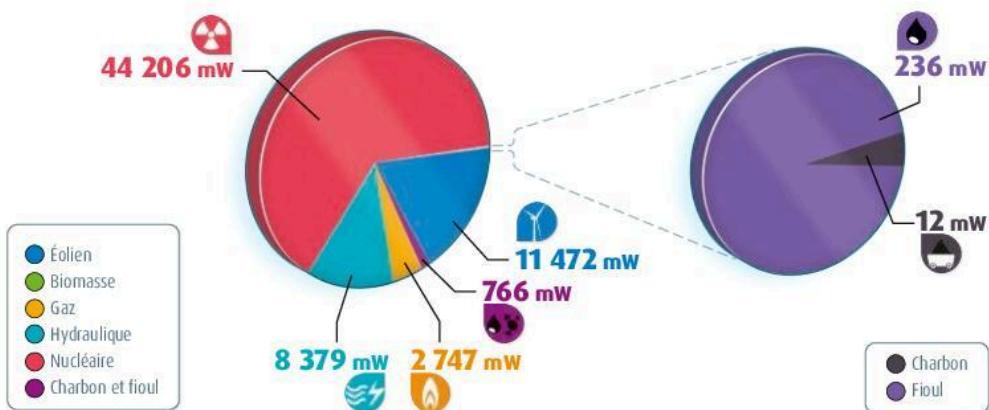
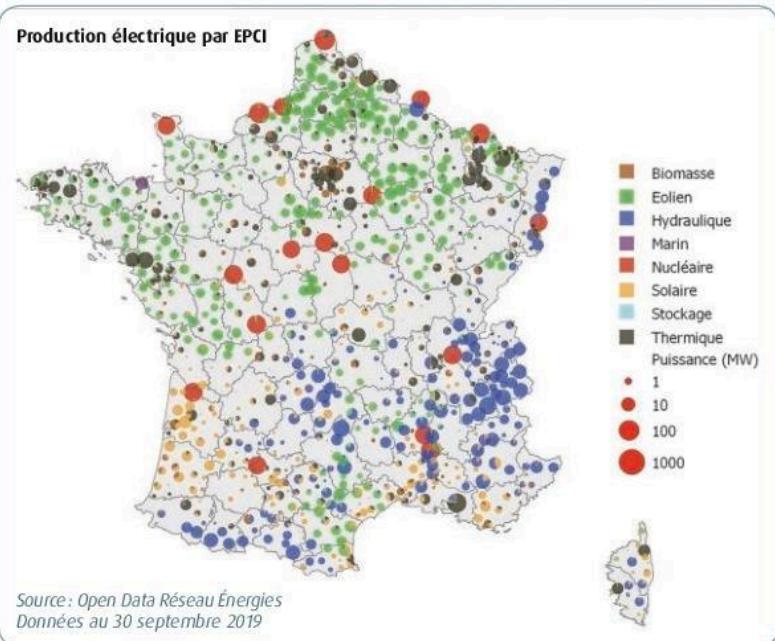
- Calculez un ordre de grandeur le part du transport maritime et du transport routier sur le bilan carbone des différentes pommes du **DOC. 2**.
- Calculez un ordre de grandeur de la part du trajet du consommateur pour une pomme du Limousin achetée soit dans le Limousin, soit en Île-de-France.
- Proposez des explications aux résultats obtenus.
- Décrivez, selon les lieux d'achat et la saison d'achat les différences observées.
- Justifiez à partir des documents précédents pourquoi il est recommandé, pour réduire son empreinte carbone, de manger des fruits et légumes frais « locaux et de saison » (**DOC. 3**).

17 Analyser des documents et calculer

Le mix énergétique français

Le terme «mix énergétique» désigne la répartition des différentes sources d'énergie primaire utilisées pour obtenir un service donné. Dans cet exercice, on s'intéresse aux sources d'énergie primaires utilisées pour produire l'électricité en France.

DOC 1 Localisation, nature et puissance des installations de production d'électricité en France. Remarque: l'échelle des puissances est logarithmique.



DOC 2 Répartition par source de l'électricité produite en France au mois de février 2020.

QUESTIONS

1. Calculez la production électrique totale en France en février 2020.
2. Calculez le pourcentage correspondant à chaque source d'énergie primaire.
3. Calculez le pourcentage d'électricité produite grâce aux combustibles fossiles.
4. Calculez le pourcentage d'électricité produite grâce à des sources renouvelables.
5. Décrivez et commentez la répartition des unités de production sur le territoire.
6. Comparez la part respective de l'éolien, de l'hydraulique et du nucléaire dans les documents 1 et 2. Expliquez les différences observées.