

Les ressources géologiques

Cours

PLAN DU CHAPITRE

- 1 Diversité des ressources géologiques et causes de leur inégale répartition
- 2 Impact environnemental de l'exploitation des ressources
- 3 Les flux de ressources géologiques à l'échelle mondiale

INTRODUCTION

Une **ressource géologique** est une propriété locale de la lithosphère exploitée par l'homme. Il s'agit de **chaleur** (géothermie) et de substances **utiles** : les principales sont l'**eau douce**, des **substances minérales** (matériaux ou minerais) et des **substances organiques** (charbons, hydrocarbures). Une ressource est extraite d'un **gisement**, dont la formation a généralement impliqué des processus localisés de **concentration**.

- ➔ **Quels sont les mécanismes de formation et les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources géologiques ?**
- ➔ **Quels sont les principaux flux de ressources entre les régions productrices et consommatrices, à l'échelle globale ?**

1 Diversité des ressources géologiques et répartition

1.1 Les matériaux de carrière (matériaux de construction)

- Les **granulats** sont des fragments de 0 à 125 mm, provenant de l'exploitation d'alluvions et de plages littorales ou du concassage de roches et servant à la construction des routes, des ballasts de voies ferrées (2/3 de la consommation française), et des bétons (1/3 de la consommation). Les granulats sont utilisés à l'état brut, mais d'autres matériaux peuvent subir une transformation.
- Le **ciment** est fabriqué à partir de calcaire (75 %) broyé et calciné à 1 450 °C, d'argiles (20 %) et de gypse (5 %). Sa production conduit à la libération d'importantes quantités de CO₂ dans l'atmosphère. Le ciment participe, avec le sable et les graviers, à la confection des **bétons**.
- Les argiles durcies à la cuisson constituent les **tuiles** et **briques**.
- La déshydratation partielle du gypse (entre 120 et 160 °C) permet l'obtention du **plâtre**.
- La fusion de sables siliceux permet la fabrication du **verre**.
- Les **matériaux de carrière** sont très diversifiés, mais sont majoritairement des roches sédimentaires : leur diversité résulte de celle des formations sédimentaires et leur genèse ne nécessite pas l'intervention de processus de concentration particulier.

1.2 Les gisements d'eau douce : lacs, rivières et aquifères

L'eau douce des réservoirs superficiels (rivières, lacs) et souterrains (**aquifères**) est exploitée pour l'alimentation humaine et animale, l'industrie, l'irrigation. La consommation en eau par habitant est de l'ordre de 150 L par jour en France.

L'accumulation d'eau dans le sous-sol résulte de l'infiltration des eaux météoriques et implique deux types de terrains (figure 19.1).

- Un **aquifère** : c'est le terrain qui contient l'eau (qui constitue alors une nappe). Le stock d'eau qu'un aquifère peut contenir dépend de sa porosité et de son degré de fissuration : un aquifère sableux contient ainsi de 150 à 250 L d'eau par m^3 , un aquifère granitique fissuré peut en contenir jusqu'à 20 $L.m^{-3}$.
- Un **niveau imperméable** sur lequel repose l'aquifère (il peut s'agir d'un niveau argileux).

L'exploitation de l'eau souterraine par des puits et forages implique une bonne connaissance de la dynamique des nappes (alimentation, circulation, pertes au niveau des sources ou des cours d'eau). Le niveau supérieur de la nappe (**toit** de la nappe) a une position variable, dépendant des entrées et sorties d'eau de la nappe.

La position de l'eau dans un puits creusé dans un aquifère correspond au niveau piézométrique de la nappe. Une nappe est dite **libre** quand le niveau piézométrique correspond à son toit. Quand l'aquifère est compris entre deux niveaux imperméables, il est saturé en eau sur toute sa hauteur et l'eau y est sous pression : la nappe est alors captive, et le **niveau piézométrique** est situé plus haut que le toit de la nappe dans l'aquifère.

Les points où la surface piézométrique recoupe la topographie constituent des sources, qui peuvent être captées.

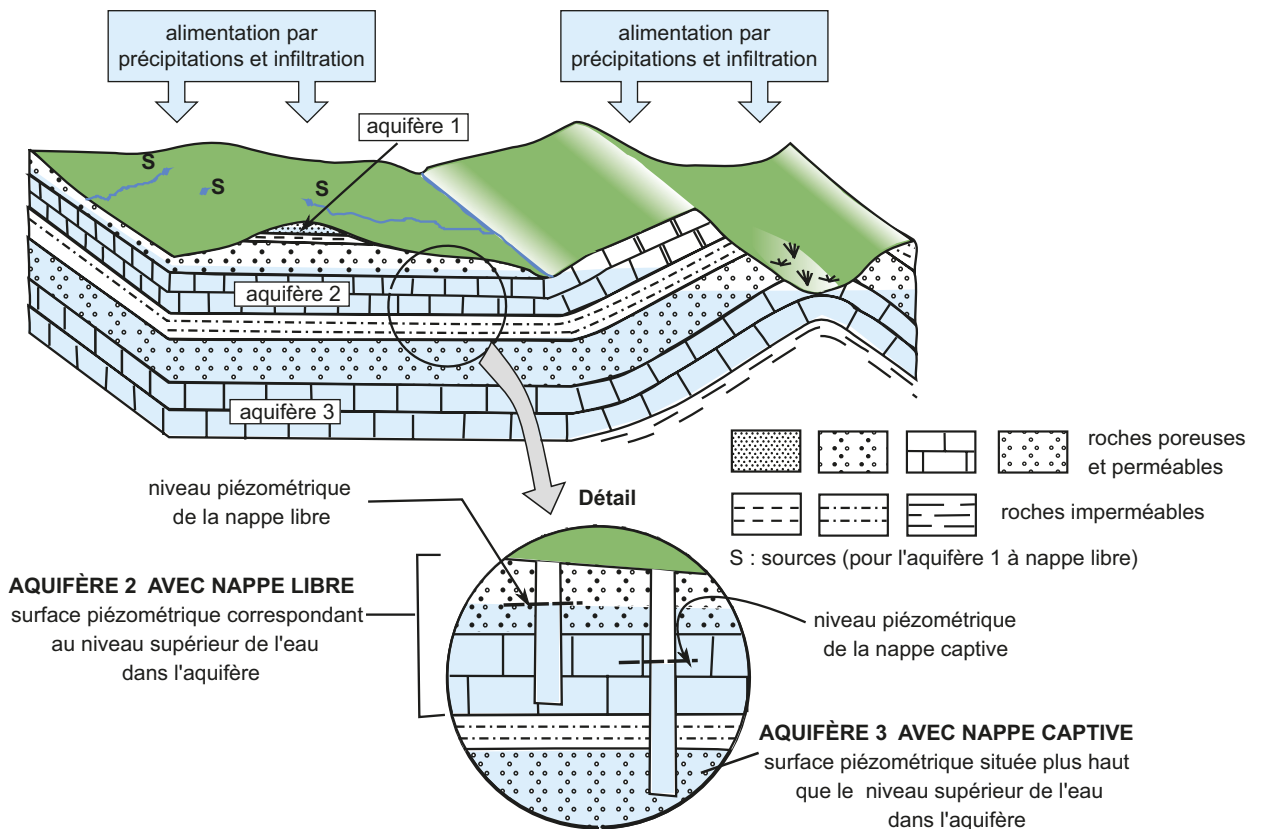


Figure 19.1 Aquifères et nappes dans une formation sédimentaire.

Trois aquifères sont présents dans le sous-sol de cette région fictive. Là où la nappe de l'aquifère 1 recoupe la surface, se trouvent des sources (S). Les nappes des aquifères 1 et 2 sont libres ; la nappe de l'aquifère 3 est captive. L'aquifère 2 est en relation avec la rivière. Selon les cas, l'aquifère peut alimenter la rivière ou être alimenté par elle.

Les terrains sédimentaires, fréquemment impliqués dans le stockage naturel de l'eau douce, peuvent l'être dans le stockage artificiel de diverses substances : stockage du CO₂ d'origine anthropique, stockage de déchets radioactifs.

1.3 Les gisements de substances organiques : charbons, hydrocarbures

Ces gisements constituent des **ressources énergétiques**. Ce sont des combustibles fossiles utilisés pour le chauffage, la production d'électricité, les transports.

- Les gisements de **charbons** (gisements houillers) sont des accumulations de matière organique provenant de la végétation terrestre. Les principaux gisements européens se sont formés au Carbonifère (« période houillère ») par enfouissement rapide de débris végétaux dans des bassins (en contexte lacustre ou littoral) fortement subsidés, et en conditions réductrices, limitant leur décomposition.
- Les gisements d'hydrocarbures liquides (pétroles) ou gazeux (gaz naturel) résultent de l'accumulation de matière organique d'origine planctonique, dans des bassins marins également réducteurs et subsidés.

Dans les deux cas, le gisement résulte :

- d'une concentration de la matière organique, par de forts taux de sédimentation détritique et une productivité biologique importante ;
- d'une préservation de la matière organique, souvent due à des conditions réductrices, dans des milieux anoxiques de sédimentation et de diagenèse ;
- d'une maturation de la matière organique. L'évolution correspond à une perte progressive de H et O au cours de l'enfouissement, donc un enrichissement en C.

Cas particulier des hydrocarbures : ils se forment dans un intervalle de température limité (entre 60 °C et 120 °C) qui correspond à la fenêtre à huile. Au-delà, le cracking thermique conduit à du gaz (CH₄). Il s'ajoute par ailleurs une migration de la matière organique dans des pièges, d'où ils sont extraits lors d'une exploitation.

! Attention !

Notion de ressource énergétique

Les ressources géologiques énergétiques sont représentées par les matériaux carbonés fossiles (charbons, pétroles et gaz) et les minerais d'uranium. Elles comprennent aussi l'exploitation de l'énergie hydraulique (production d'électricité) et la géothermie, exploitation de la chaleur interne (chauffage, électricité). En Islande, la géothermie fournit plus de 25 % de l'électricité et 90 % du chauffage

1.4 Les gisements de minerais

Un **minerai** est un minéral ou une roche dont on peut extraire, avec profit, un ou plusieurs éléments chimiques. Après extraction du minerai du sous-sol, il intervient une série d'opérations complexes et énergétiquement coûteuses qui aboutit à l'obtention d'un produit commercialisable. La rentabilité de l'exploitation tient compte du coût de l'extraction.

Les concentrations minérales sont caractérisées par un facteur d'enrichissement, qui correspond au rapport entre la teneur moyenne d'un élément chimique dans le gisement et son abondance dans la croûte (le **clarke**).

Les concentrations minérales résultent des phénomènes géologiques classiques (altération, transport/sédimentation, métamorphisme, magmatisme) : au cours de ces processus interviennent de nombreux **tris géochimiques** du fait des comportements contrastés des éléments chimiques (par exemple : ségrégation entre éléments incompatibles et compatibles au cours de la fusion partielle et/ou de la cristallisation, qui peut induire leur concentration locale). Il s'opère aussi des tris gravitaires lors du transport des particules en suspension, les plus denses pouvant

s'accumuler dans certains dépôts alluvionnaires, constituant des **placers** (exemple, cas de l'or de densité supérieure à 10). Un aperçu de la diversité des **concentrations métallifères** liées aux tris géochimiques est fourni par la **figure 19.2**.

Tableau 19.1 Facteurs d'accumulation de quelques éléments exploités.

Élément chimique	Utilisation	Clarke	Teneur moyenne des gisements exploitables (en % massiques)	Facteur d'enrichissement
Aluminium (Al)	ustensiles de cuisine, emballages canettes, carrosseries...	8 % massique	30	3,75
Fer (Fe)	industrie automobile, confection de l'acier (alliage fer-carbone)	7,4 % massique	60	8
Or (Au)	bijouterie, dentisterie, électronique	0,4 ppb	0.0008	20
Nickel (Ni)	nombreux alliages métalliques	0,011 % massique	3	270
Cuivre (Cu)	industrie mécanique et électrique, alliages	50 ppm	0,5 - 5	100 - 1 000
Plomb (Pb)	plomberie, batteries...	16 ppm	8	5 000
Tungstène (W)	industrie électrique, alliages	1 ppm	1,0	10 000
Uranium (U)	ressource énergétique	1 ppm	0,02 - 20	200 - 200 000

(D'après « Crustal anomalies » - The Open University Press).

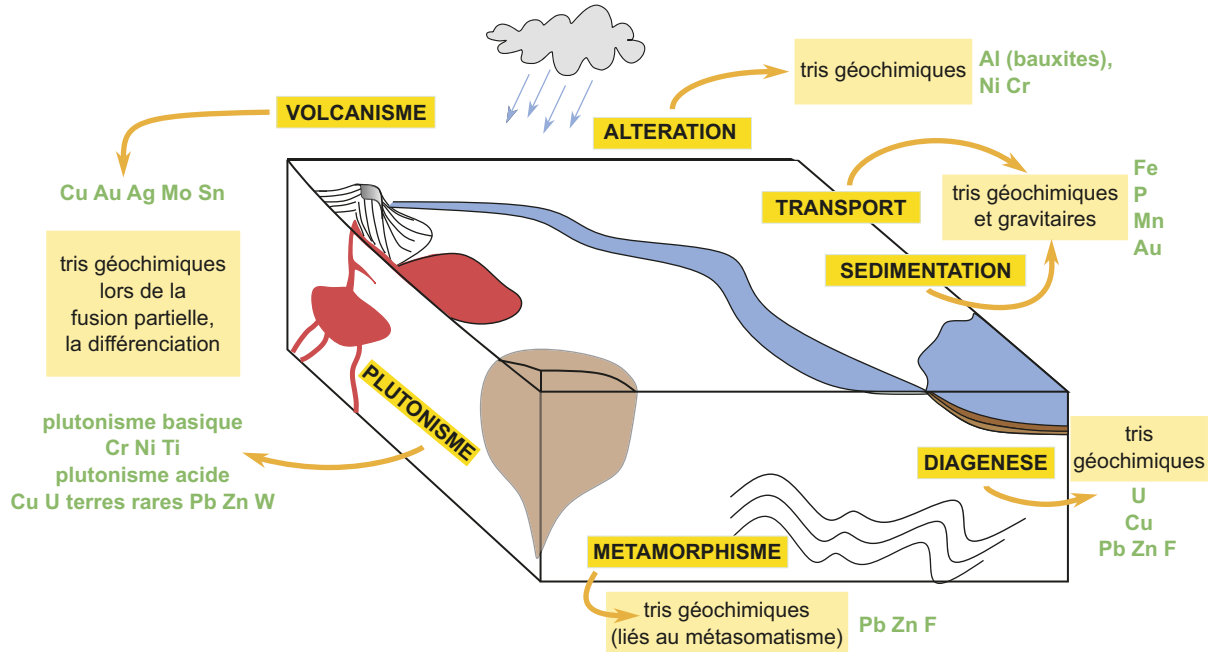


Figure 19.2 Les tris géochimiques au cours des processus magmatiques, métamorphiques et sédimentaires, et les concentrations métallifères associées.

Al : aluminium ; Ag : argent ; Au : or ; Cr : chrome ; Cu : cuivre ; F : fluor ; Fe : fer ; Mn : manganèse ; Mo : molybdène ; Ni : nickel ; P : phosphore ; Pb : plomb ; Sn : étain ; U : uranium ; W : tungstène ; Zn : zinc.

2

L'impact environnemental de l'exploitation des ressources

La géothermie est la seule ressource géologique durable, dont l'exploitation est non polluante et présente des nuisances réduites. L'exploitation des autres ressources entraîne le risque de leur épuisement et a des impacts environnementaux notables (pas forcément négatifs).

Par exemple, le [Tableau 19.2](#) résume les impacts de **l'exploitation des granulats**.

Tableau 19.2 Quelques impacts liés à l'exploitation des granulats alluvionnaires et marins.

	Impacts négatifs	Impacts positifs	Type d'exploitation
Impact sur les ressources en eaux superficielles et souterraines	Mise à nu de la nappe et diminution de sa protection	Atténuation des crues par stockage temporaire au sein de ballastières. Activité de pêche, conversion en bases de loisirs nautiques	Exploitation de granulats alluvionnaires
	Perturbation de l'écoulement des nappes		
	Pollution liée au remblaiement par des matériaux extérieurs		
Impact sur les paysages et les écosystèmes	Destruction de zones humides	Développement de nouvelles zones humides	
	Suppression d'habitats pour la faune	Dénitrification (lutte contre l'eutrophisation)	
	Destruction des plages littorales par accélération de l'érosion		
	Disparition d'îles basses		
	Destruction d'écosystèmes littoraux et sous-marins		

Plus généralement, une bonne connaissance des processus géologiques ayant conduit à la formation des gisements est indispensable pour inscrire l'exploitation des ressources dans un cadre de développement durable.

3

Les flux des ressources géologiques à l'échelle mondiale

La localisation très différente des gisements d'hydrocarbures (Moyen Orient, Amérique du Sud, nord de l'Asie) et de leurs lieux d'utilisation (Amérique du Nord, Europe, sud-est de l'Asie) est à l'origine de flux considérables (le flux total dépasse 1 Gt.a^{-1}) – [figure. 19.3](#), qui ont des conséquences économiques, géopolitiques et environnementales énormes.

Les ressources évoluent en permanence du fait de l'apparition de nouvelles techniques (ex. : passage de l'exploitation à terre à l'exploitation offshore du pétrole) et de l'existence de nouveaux besoins (ex. : cobalt, cuivre, terres rares... nécessaires aux composants électroniques des ordinateurs et smartphones).

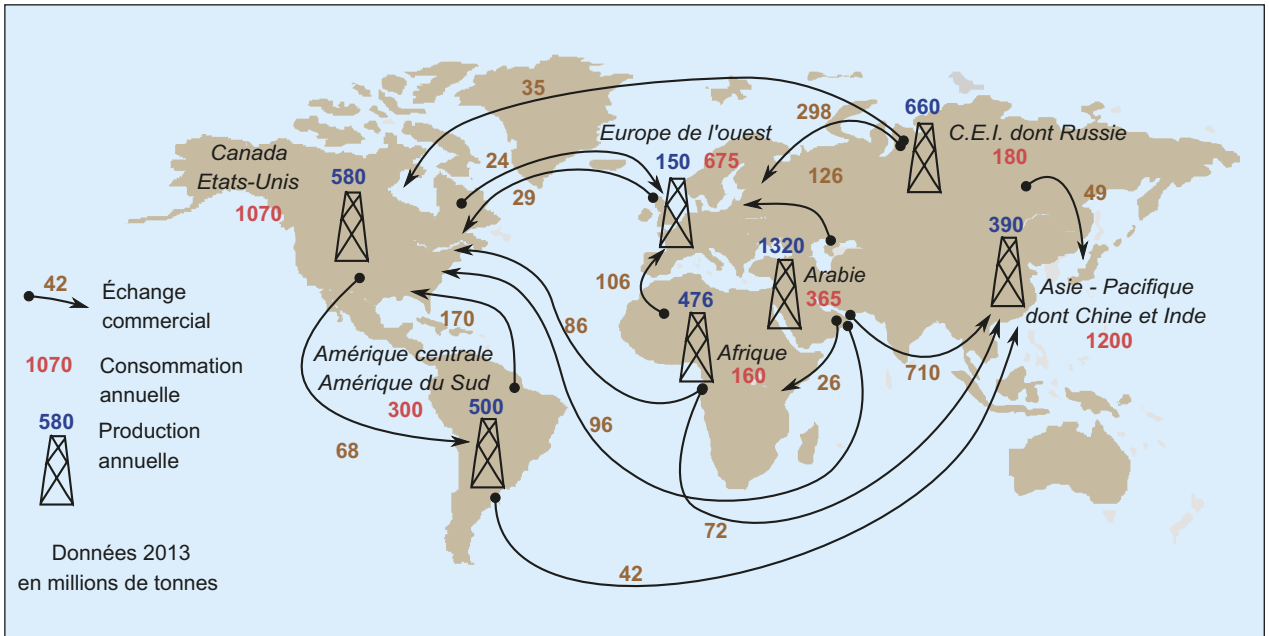


Figure 19.3 Flux de ressources pétrolières et gazières.

Elles sont aussi l'objet d'enjeux stratégiques et politiques : les pays producteurs contrôlent l'offre et ainsi les prix. La Chine concentre 95 % de la production de terres rares indispensables à l'électronique moderne. Elles peuvent être à l'origine de conflits qui impactent alors leur distribution et leur prix.

Réviser

Résumé

- L'homme extrait de très nombreuses **ressources** de la croûte terrestre : eau, matériaux, minerais, ressources énergétiques.
- Quelle que soit la ressource, celle-ci est toujours extraite d'un **gisement**, formation géologique présentant une accumulation notable de la ressource. Dans le cas des minerais, le gisement résulte de mécanismes de **concentration** associés à des **tris géochimiques**.
- L'eau et l'énergie géothermique sont utilisées au plus près de leur gisement. Les autres ressources font l'objet de flux importants à l'échelle planétaire.
- L'exploitation des ressources a des **impacts environnementaux** notables. Une bonne connaissance géologique des caractéristiques des gisements peut permettre d'inscrire leur exploitation dans le cadre d'un développement durable.

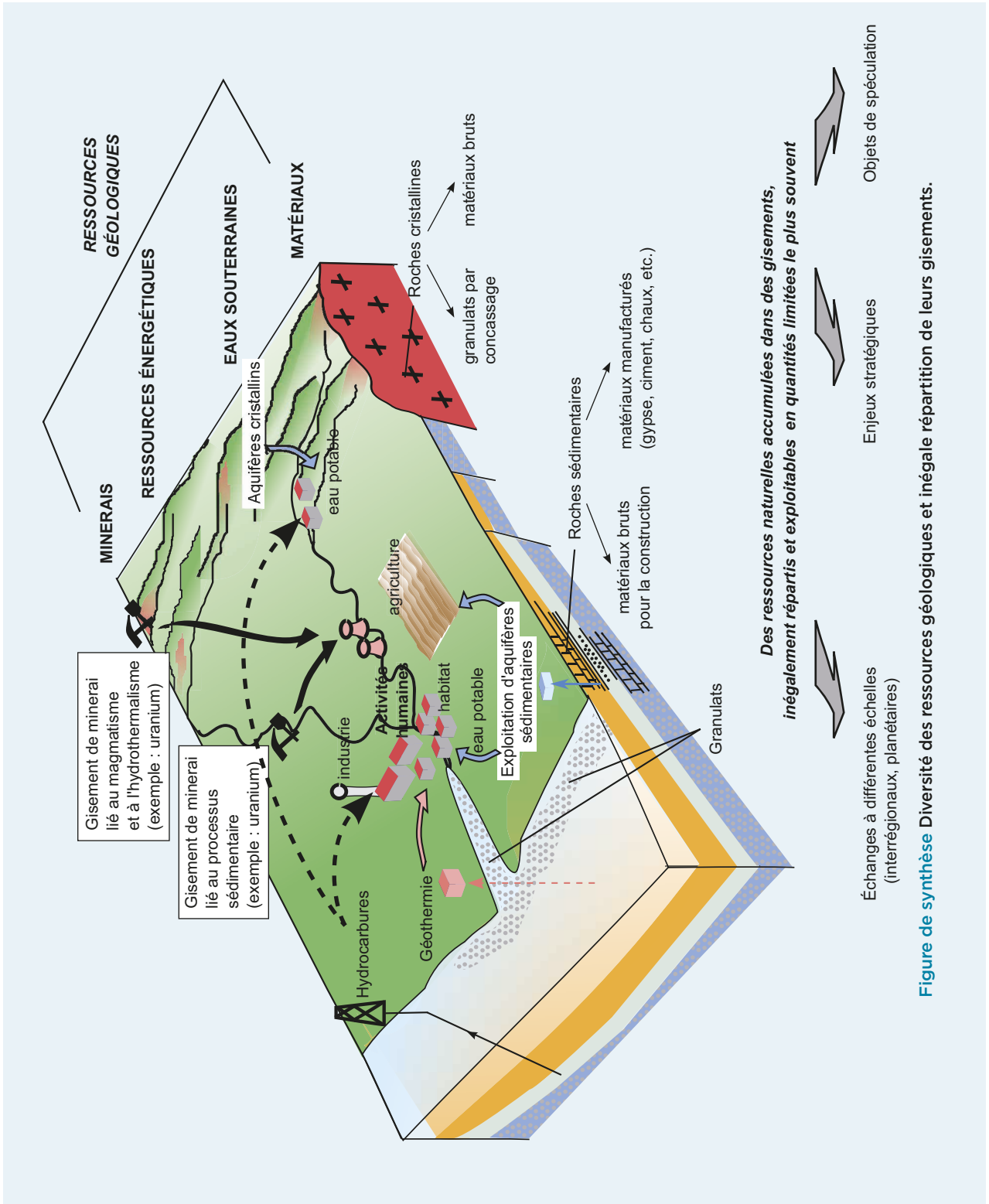


Figure de synthèse Diversité des ressources géologiques et inégale répartition de leurs gisements.

S'entraîner

QCM de connaissances (risques géologiques)

Parmi les affirmations suivantes lesquelles sont vraies ?

- a. L'aléa dépend de l'occupation de la région.
- b. La résilience d'un système accroît sa perturbation lors d'un aléa.
- c. La densité de population peut constituer l'un des paramètres de la vulnérabilité.
- d. La prévision temporelle des aléas de géodynamique interne est toujours plus fiable que leur prévision spatiale.
- e. La survenue d'un aléa est toujours indépendante des autres aléas.

Sujet sur documents (ressources géologiques)

Le fer est transporté dans l'eau sous trois formes essentielles : à l'état dissous $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$; sous forme d'hydroxydes $\text{Fe}(\text{OH})_3$ en suspension ; adsorbé à la surface de particules organiques (sous forme Fe^{2+} ou Fe^{3+}).

Le fer se dépose dans des conditions oxydantes, sous la forme de Fe^{3+} et dans des conditions réductrices, sous la forme Fe^{2+} .

Les gisements de fer du Phanérozoïque (dont les gisements de fer autrefois exploités en Lorraine) sont pour l'essentiel constitués par des roches du type de la [figure 19.6](#). Les oolites sont fréquemment composés d'hématite Fe_2O_3 , de limonite $\text{FeO}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Aux oolites sont généralement associés en petite quantité des grains de quartz et des tests d'organismes : gastéropodes, lamellibranches, ammonites. Le gisement de minerai de fer se présente sous la forme de couches lenticulaires, aux épaisseurs variables, présentant des stratifications obliques et encadrées par des roches calcaires, argileuses ou marneuses.

- 1 Les conditions de dépôt du fer étaient-elles réductrices ou oxydantes ?
- 2 Quelles hypothèses peut-on formuler quant à la nature du milieu de sédimentation ?
D'autres minerais de fer oolithiques, moins fréquents, contiennent de la chamosite $\text{Fe}_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$.
- 3 Montrer que le fer est à l'état réduit dans la chamosite.
- 4 Comment expliquer que pendant le temps qui s'est écoulé depuis son dépôt, le fer de ce minerai n'ait pas été oxydé ?

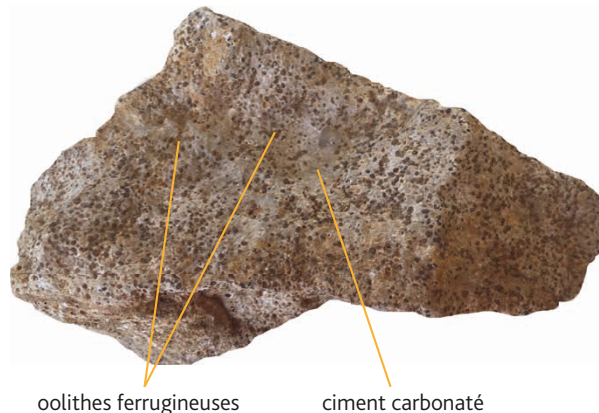


Figure 19.6 Le minerai de fer classique dans les terrains phanérozoïques.