

**Chantal Gevrey**

***PETITE PLANÈTE, GRANDS DÉFIS***

**LE MILIEU PHYSIQUE ET LES RESSOURCES**

**Dossier n° 2**

**© Chantal Gevrey 2012**

**Toute reproduction interdite sans l'autorisation de l'auteur**

## ***PETITE PLANÈTE, GRANDS DÉFIS***

Dossier n° 1 – L'ABC de la géographie : la discipline et ses outils

**Dossier n° 2 – Le milieu physique et les ressources**

Dossier n° 3 – La question démographique

Dossier n° 4 – Le développement économique

Dossier n° 5 – L'équilibre géopolitique

Dossier n° 6 – L'environnement : La Terre, un héritage en péril ?

Chacun des dossiers n° 2 à 6 (le dossier n° 1 constituant une introduction à la discipline) de l'ensemble *Petite planète, grands défis* aborde l'une des grandes problématiques de notre époque, sous l'angle de la géographie – une dimension souvent méconnue et pourtant essentielle des questions d'actualité, car les faits se situent non seulement dans le temps mais aussi dans l'espace.

Initialement conçu sous la forme d'un manuel pour le cégep, plus particulièrement adapté au cours « Initiation à la carte du monde », le projet de publication a été abandonné par l'éditeur peu avant la date prévue de la parution, soit avril 2012. La rédaction proprement dite était alors pratiquement terminée, mais il restait beaucoup à faire. J'aurais trouvé dommage, cependant, de ne pas partager le matériel déjà disponible, car le contenu informatif demeure pertinent et actuel, susceptible d'intéresser un large public – étudiant ou non.

### **À quoi s'attendre, en tant qu'utilisateur ?**

- Il s'agit d'un ouvrage d'initiation, qui s'en tient à un aperçu de base des questions abordées. Des études de cas (rubrique « Sous la loupe »), ainsi que des liens occasionnels vers des dossiers disponibles sur le Web, permettent d'approfondir davantage certains sujets.
- Les éléments à caractère strictement pédagogique ont été retirés, la perspective n'étant plus celle d'un outil d'enseignement dans le cadre d'une classe.
- Afin de respecter la *Loi sur le droit d'auteur*, les hors-textes ne figurent que sous la forme de liens vers les sites d'où ils proviennent. À l'exception des schémas et tableaux dont je suis l'auteure, les illustrations n'ont donc pas été « traitées » comme elles le seraient dans un livre (simplification, harmonisation, traduction, et autres adaptations) et surtout, il est impossible de prévoir jusqu'à quand un lien demeurera actif. Elles sont donc données à titre plutôt indicatif.
- Les exemples fournis tiennent compte de la situation mondiale jusqu'au 30 juin 2013, date de la dernière mise à jour. Au-delà, il vous appartiendra d'adapter le propos au besoin.

### **Conditions d'utilisation**

L'accès à ce fichier est libre et gratuit, en vue d'une utilisation personnelle ou pédagogique uniquement. Toute reproduction, modification, rediffusion ou utilisation à des fins commerciales est strictement interdite. Il ne peut être hébergé, en totalité ou en partie, sur un autre site que celui de l'auteure, ni intégré à d'autres fichiers, même avec mention de l'auteure, à moins d'une autorisation formelle de sa part.

Pour citer ce dossier : Chantal Gevrey. « Dossier n° 2 – Le milieu physique et les ressources », *Petite planète, grands défis*, [pdf], 2012, p. xx, <http://www.petiteplanetegrandsdefis.com> (date de consultation).

<http://www.petiteplanetegrandsdefis.com>

<http://www.chantalgevrey.com>

***PETITE PLANÈTE, GRANDS DÉFIS***  
**Le milieu physique et les ressources**

Photo

Luc Pottiez. «Vallée d'Écosse», *l'Internaute Voyage*, 20 juillet 2007, [En ligne], <http://photos.linternaute.com/photo/1082872/1360682771/1342/vallee-d-ecosse/> (Page consultée le 28 juin 2013)

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Une planète sans repos</b>	6
1.1	La structure interne du Globe	6
1.2	Les mouvements de l'écorce terrestre et la formation des reliefs	7
1.3	Les principaux types de reliefs continentaux	9
1.4	Les reliefs sous-marins	11
<b>2</b>	<b>L'hydrosphère</b>	13
2.1	Les mers et les océans	13
2.2	Les eaux douces	14
<b>3</b>	<b>Le climat, les sols et la végétation</b>	17
3.1	Les différentes zones de climats	18
3.2	Les sols	19
3.3	La végétation	19
<b>4</b>	<b>Les ressources essentielles</b>	21
4.1	Quelques ressources primordiales pour l'alimentation	21
4.2	L'eau	23
4.3	Les ressources énergétiques et minérales	25
<b>Sous la loupe...</b>		
-	De la dérive des continents à la tectonique des plaques	33
-	L'Antarctique : des ressources encore inexploitées	43
<b>Pour aller plus loin</b>		45
<b>Bibliographie</b>		46
<b>Annexes (tableaux)</b>		48

La connaissance de la Terre en tant qu'objet astronomique ne fournit pas seulement les repères indispensables pour nous situer dans l'espace. Elle explique également l'origine et la nature des matériaux constituant notre planète, ainsi que la dynamique de l'écorce terrestre. Les continents et les océans, les reliefs, l'emplacement des ressources se modifient sans cesse. Si nous ne percevons pas ces changements parce qu'ils se produisent en général très lentement, ils n'en sont pas moins réels. Reconstituer l'évolution passée, en comprendre la logique, permet de prévoir l'évolution future et, de façon plus pratique, de localiser les ressources du sous-sol et de se prémunir contre les conséquences des catastrophes naturelles telles que les séismes et les éruptions volcaniques.

Toutes les régions du globe n'offrent pas les mêmes avantages ou limitations pour le peuplement et le développement. Les conditions du milieu (notamment le climat, la qualité des sols et la disponibilité en eau) constituent un préalable au développement de l'agriculture, autrement dit à l'existence d'une communauté humaine stable et autonome. C'est seulement par la suite, à mesure qu'il développe des activités autres que l'agriculture, qu'un groupe humain peut surmonter les contraintes naturelles. Les ressources du sous-sol interviennent dans la capacité industrielle. Les cours d'eau, l'accès aux océans, le relief, déterminent le degré d'aisance des échanges commerciaux, car une bonne position sur des axes importants peut compenser largement l'insuffisance des ressources locales. Nous constaterons que certaines ressources sont plus convoitées que d'autres, ce qui explique une bonne part des rivalités et des conflits dont la carte politique du monde constitue le résultat. Paradoxalement, des régions à hauts risques, comme le voisinage de volcans ou les plaines inondables, fixent tout de même d'importantes concentrations humaines en raison de leur richesse en ressources (terres fertiles ou minéraux exploitables, notamment).

Afin de mieux comprendre les paysages de notre planète, le jeu des forces naturelles, les conditions nécessaires à la vie et au déploiement des activités humaines, il est important d'examiner les caractéristiques physiques de la Terre telles que la structure géologique, la circulation des eaux, les mécanismes climatiques et les principaux écosystèmes.

# 1 Une planète sans repos

Le système solaire, dont la Terre fait partie, serait né il y a environ 4,5 milliards d'années à partir d'un nuage de résidus provenant de la combustion d'anciennes étoiles. Le cycle de désintégration des éléments radioactifs se poursuit dans Soleil, dans le noyau de la Terre et dans les autres corps célestes. C'est l'origine de la chaleur interne du globe et, par là même, de la construction des reliefs terrestres. La rotation de la Terre sur elle-même et les **courants de convection** à l'intérieur du manteau (*voir la section 2.1.1*) redistribuent la chaleur interne et forgent les reliefs par le jeu du déplacement des **plaques tectoniques**. Celui-ci est en effet influencé, entre autres, par les différences de température dans les profondeurs de notre planète.

**Courants de convection** – Courants dus à des différences de température et de densité. Par exemple, un fluide chauffé prend de l'expansion et tend à s'élever.

**Plaques tectoniques** – Fragments de la lithosphère résultant du découpage d'un hypothétique continent universel.

[Sous la loupe – De la théorie de Wegener à la tectonique des plaques, p. 33]

## 1.1 La structure interne du globe

La Terre serait formée de structures concentriques, distinctes l'une de l'autre par leur composition et leur densité

**[1 A][1 B]**

### **[1]** Coupe schématique de l'intérieur de la Terre

**[1 A]**

Schéma

Ruka U Testu. *Naučna dokumentacija : Geologija*, «Manifestations de l'activité de la Terre», structure de la Terre, *Introduction*, 7 mars 2007, [En ligne], [http://rukautestu.vin.bg.ac.rs/bdd\\_image/globe2.jpg](http://rukautestu.vin.bg.ac.rs/bdd_image/globe2.jpg) (Page consultée le 28 juin 2013)

**[1 B]**

Schéma

«Schéma bilan de la structure interne du globe terrestre», Les particularités de l'Islande, 2011, [En ligne], <http://volcan-islandais.webnode.fr/products/i-a-quoi-est-du-le-volcanisme-islandais/> (Page consultée le 28 juin 2013)

Le noyau central, composé en grande partie de nickel et de fer, est à l'origine du champ magnétique de la Terre et source de chaleur interne. Autour du noyau, le manteau (environ 80 % du volume de la planète) se compose de roches que la chaleur du noyau a rendues plastiques et que la rotation de la terre déplace lentement. La partie supérieure du manteau (ou asthénosphère) forme un **magma** visqueux. La lithosphère combine la partie la plus superficielle du manteau et la croûte terrestre proprement dite. Elle forme l'enveloppe externe, rigide, extrêmement mince, du globe. Loin d'être uniforme, elle se subdivise en plusieurs plaques mobiles les unes par rapport aux autres, et celles-ci ne sont pas de même nature. On distingue :

- La croûte continentale, composée surtout de granite. On peut supposer qu'à l'origine il s'agissait d'une sorte d'écume (une «protocroûte») formée par les matériaux les plus légers du manteau en fusion. Telle que nous la connaissons aujourd'hui, elle n'est pas continue mais fragmentée en continents. Sa densité est plus faible que celle de la croûte océanique.
- La croûte océanique, composée surtout de basalte, une roche **éruptive** dense et lourde, forme le fond des océans. Son épaisseur est beaucoup moindre que celle de la croûte continentale, sa composition est plus simple et son âge ne dépasse pas 200 millions d'années car elle se renouvelle continuellement. Au bout de ce temps, son poids et la courbure de la Terre font ployer ses extrémités, qui s'enfoncent alors sous les continents situés de part et d'autre (**subduction**).

**Magma** – Ensemble de roches en fusion et de gaz qui se forme sous la lithosphère.

**Éruptive** – D'origine volcanique.

**Subduction** – Plongée d'une plaque lithosphérique dans les profondeurs de l'asthénosphère.

On définit souvent un continent comme une grande surface de terres entourée par des océans. Cependant, le continent austral est formé de l'Australie et de l'Antarctique, deux entités séparées ; l'Asie et l'Europe sont des parties du monde qui forment plutôt un seul continent eurasiatique. Par ailleurs, les continents comportent des parties submergées : les plateformes continentales (*voir la section 2.1.4*). C'est que la géographie définit les continents selon les formes visibles du terrain, tandis que la **géologie** les définit selon la nature des roches et la dynamique d'ensemble de la croûte terrestre. À la différence des côtes qui sont des formes géographiques, le contact entre la croûte océanique et la croûte continentale est une limite géologique fixe qui ne dépend pas du niveau des eaux. Ainsi, l'enveloppe de la Terre se présente non comme une alternance de terres et d'océans mais comme un ensemble de plaques rigides qui se déplacent sur l'asthénosphère, faisant surgir **chaînes** de montagnes, volcans et îles sur leurs limites.

**Géologie** – Étude de l'histoire, des caractéristiques, de la répartition et de la dynamique des matériaux terrestres.

**Chaîne (de montagnes)** – Ensemble montagneux de forme allongée.

## 1.2 Les mouvements de l'écorce terrestre et la formation des reliefs

L'écorce terrestre évolue de façon permanente, mais nous n'en prenons conscience qu'à l'occasion des séismes ou des épisodes volcaniques dont nous sommes témoins et qui se localisent à des endroits déterminés du globe, comme le Japon [2].

### [2] Le séisme du 11 mars 2011 à Sendai (Japon)

Le séisme de Sendai, sans doute le plus violent qu'ait enregistré le Japon, est lié au mécanisme de la subduction.

Photo

«Photo n° 29, Photos of Japan after Earthquake and Tsunami», *The New York Times.com*, 12 mars 2011, [En ligne], [http://www.nytimes.com/interactive/2011/03/12/world/asia/20110312\\_japan.html?ref=asia#29](http://www.nytimes.com/interactive/2011/03/12/world/asia/20110312_japan.html?ref=asia#29) (Page consultée le 28 juin 2013)

Le moteur du déplacement des continents et de la formation des reliefs est l'expansion des fonds océaniques à partir des dorsales [3]. Ces chaînes de montagnes situées au centre de chaque océan constituent une limite divergente, sous la forme d'une double ligne de sommets de part et d'autre d'une fracture (rift) par laquelle s'épanche le magma en fusion. Celui-ci, en se refroidissant, devient la croûte océanique. Comme le volume de la Terre ne peut s'accroître, la poussée continue de matière nouvelle fait disparaître sous les continents la partie la plus ancienne de la plaque océanique. C'est cette plongée, ou subduction, qui creuse les fosses, tout en déclenchant des séismes et du volcanisme. Au cours de sa plongée, la plaque océanique finit par revenir à l'état de magma fluide sous l'action de la chaleur interne. Ainsi, la matière circule et se transforme sans cesse. La côte ouest des deux Amériques et les côtes asiatiques, de part et d'autre du Pacifique, illustrent si bien ce processus qu'on les a surnommées la «ceinture de feu» du Pacifique [4].

### [3] L'expansion des fonds océaniques à partir d'une dorsale

Schéma

D'après John Wiley and Sons, Inc. «Comment naît un océan», *Free.fr*, 1999, [En ligne], [http://mysteresdelanature.free.fr/oceans\\_n.html](http://mysteresdelanature.free.fr/oceans_n.html) (Page consultée le 28 juin 2013)

#### [4] La tectonique des plaques et le Cercle de feu

##### Cartes et dossier explicatif

- «3 – La partie externe de la Terre est formée de plaques mobiles», *La partie externe de la Terre est formée de plaques dont les mouvements permanents transforment la surface du Globe*, s.d., p. 2-3, *exobiologie.info*, [En ligne], <http://www.exobiologie.info/34SVT4.pdf> (Page consultée le 28 juin 2013)
- «Subduction océanique-océanique», *L'orogénèse (formation des montagnes)*, Bibliothèque virtuelle, Allô Prof, 17 septembre 2012, [En ligne], <http://bv.alloprof.qc.ca/science-et-technologie/la-terre-et-l%27espace/les-phenomenes-geologiques-et-geophysiques/l%27orogense-%28formation-des-montagnes%29.aspx> (Page consultée le 30 juin 2013)

Lorsque le déplacement des plaques tectoniques, à raison de quelques centimètres par an, les amène à converger l'une vers l'autre (on parle alors de limite convergente), l'espace entre les continents rétrécit, ce qui se produit actuellement entre l'Asie et les Amériques. Les sédiments qui tapissent les fonds marins, compressés, forment des bourrelets. On voit ceux-ci émerger, en bordure des continents, sous la forme d'**arcs insulaires** auxquels s'ajoutent les volcans générés par la subduction [5]. Tout cela finira par s'agglomérer au continent après avoir comblé les fosses. L'Alaska, par exemple, n'existait pas il y a 150 millions d'années. Sur la côte Ouest canadienne, l'île de Vancouver, qui se rapproche de la côte et se soulève (Ressources naturelles Canada, 2008) fait l'objet d'une surveillance particulière.

**Arcs insulaires** – Chapelets d'îles dont l'alignement décrit une courbe, comme le Japon ou les Antilles.

#### [5] La subduction dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique

##### Schémas et texte explicatif

«Observation de la zone de subduction de Cascadia en action», Sciences de la Terre, Ressources naturelles Canada, 15 janvier 2008, [En ligne], <http://www.rncan.gc.ca/sciences-terre/energie-mineraux/geologie/geodynamique/processus-tremblements-terre/7140> (Page consultée le 28 juin 2013)

Enfin, lorsque les continents se sont suffisamment rapprochés pour se trouver face à face (collision continentale), ils se soudent et les chaînes de montagnes ainsi créées remplacent l'océan disparu. Les montagnes situées au cœur des continents, comme la chaîne de l'Himalaya entre le sous-continent indien et la plaque eurasiatique, ou l'Oural entre l'Europe et l'Asie [6], résultent de telles collisions. Il est important de comprendre l'historique des assemblages, souvent fort complexes, qui constituent la croûte continentale actuelle. Tandis que les montagnes les plus récentes continuent à se former sur le pourtour des continents, l'érosion aplanit les plus anciennes, mais ces dernières contiennent dans leurs racines, généralement faciles d'accès, les richesses minérales de l'ancien océan. Les zones de contact des plaques renferment donc l'essentiel des ressources minérales des continents et la prospection minière y est particulièrement active. Le pétrole et le gaz naturel se forment, quant à eux, en bordure des mers chaudes, le long des façades maritimes qui ne sont pas touchées par la subduction, grâce à la décomposition de la matière organique sur de longues périodes, mais le champ des recherches s'est étendu aux mers froides lorsque le mécanisme de la tectonique des plaques a été découvert. En effet, les conditions favorables ont pu exister dans le passé, alors que le continent se trouvait dans une zone climat chaud – c'est en particulier le cas des côtes de l'est et du nord canadiens (*voir la section 2.4*).

#### [6] Les reliefs du Globe

##### Carte

C. Amante et B. W. Eakins. «ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model», Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 p., mars 2009, [En ligne], <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html> (Page consultée le 28 juin 2012)

Deux plaques peuvent parfois simplement coulisser l'une contre l'autre. Le long de la faille de San Andreas [7], par exemple, la plaque du Pacifique glisse en direction du nord-ouest contre la plaque nord-américaine qui se dirige, elle, vers le sud-est. À chaque blocage de ce mouvement, la tension s'accumule jusqu'à ce qu'un séisme se produise, comme à Los Angeles en janvier 1994 ou le *Big One* prévu pour... bientôt, sans que l'on puisse préciser davantage.

## [7] La faille de San Andreas (Californie)

Photo satellite + flèches

Kate Barton, David Howell et Joe Vigil. «Fichier :Sanandreas.jpg, 14 mars 2006, *Wikipedia*, [En ligne], <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/76/Sanandreas.jpg> (Page consultée le 28 juin 2013)

Compte tenu de cette perpétuelle évolution, le visage de la planète aura profondément changé dans une cinquantaine de millions d'années. L'océan Atlantique est encore en pleine expansion, éloignant l'une de l'autre l'Afrique et l'Amérique du Sud. Le Pacifique se referme, ainsi que la Méditerranée. L'est de l'Afrique se détache du continent, l'Inde continue à s'enfoncer sous la plaque eurasiatique, l'Australie remonte vers l'Asie du Sud. En Russie, une fracture continentale (rift) commence à se former sous le lac Baïkal, comme on peut le constater par l'activité sismique et les mesures prises par les satellites.

## 1.3 Les principaux types de reliefs continentaux

La mécanique des plaques entraîne le déplacement d'énormes volumes de matériaux. Les restes des montagnes effacées par l'érosion contiennent du sable, du gravier, des minerais métalliques, des pierres précieuses. Transportés par les fleuves jusqu'aux océans, ils s'accumulent dans les **deltas** et sur les **plateformes continentales** (*voir la section 2.1.4*) ou sont entraînés au fond des mers, où ils serviront plus tard à la formation de nouveaux reliefs. Cela explique la succession, sur une longue échelle de temps, de reliefs différents en un même lieu – montagnes jeunes, massifs anciens, plateaux, plaines, socles et boucliers – et leur coexistence sur les continents [8].

**Delta** – Zone d'accumulation des alluvions d'un fleuve, à son débouché dans la mer. Beaucoup de deltas ont une forme en éventail, comme la lettre grecque *delta* ( $\Delta$ ).

**Plateforme continentale** – Partie submergée des continents, qui s'étend jusqu'au contact avec la croûte océanique.

## [8] La structure du continent nord-américain

Carte

Olav Slaymaker. «Régions géologiques», *Zones de géographie physique, Historica Dominion – L'Encyclopédie canadienne*, 2012, [En ligne], <http://www.thecanadianencyclopedia.com/articles/fr/zones-de-geographie-physique> (Page consultée le 28 juin 2013)

La plupart des montagnes jeunes apparaissent au bord des continents, en raison du mouvement de subduction de la plaque océanique. Elles comptent en ce cas de nombreux volcans, comme dans les montagnes Rocheuses, la Cordillère des Andes et les arcs insulaires asiatiques. Quelques-unes naissent à l'intérieur des continents, à l'emplacement d'une collision continentale. C'est le cas des Pyrénées, des Alpes, du Caucase et de l'Himalaya. Ce sont de hautes chaînes aux pentes abruptes et aux sommets plus ou moins aigus, parfois coupées de fossés d'effondrement. L'érosion les attaque au fur et à mesure de leur **surrection** et les débris qui ne sont pas emportés par les cours d'eau s'accumulent à leur pied et dans les parties basses, atténuant progressivement les dénivellations. Les altitudes s'abaissent, les sommets s'arrondissent, les vallées s'élargissent. Devenues des massifs anciens, comme actuellement les Appalaches, les montagnes finissent par s'aplanir complètement et deviennent alors des **pénéplaines** ou des **boucliers**, simples socles rocheux que les cours d'eau ne peuvent plus attaquer faute de pente suffisante.

**Surrection** – Soulèvement.

**Pénéplaine** – Relief presque (du latin *pæne* : presque) totalement aplani par l'érosion.

**Bouclier** – Socle rigide entièrement aplani par l'érosion.

Bien qu'elles représentent des obstacles à la circulation et qu'elles puissent contribuer à la formation de déserts – comme celui de Gobi en Asie centrale – en bloquant le passage des vents océaniques, les montagnes constituent d'importants réservoirs d'eau, contiennent quantité de ressources minérales et ont un fort potentiel touristique.

Les plateaux peuvent se situer à des altitudes élevées, notamment à l'intérieur des chaînes de montagnes jeunes, mais avec une topographie plane. Ils ont des origines géologiques diverses, telles que : reliefs usés par l'érosion, coulées volcaniques, fonds sous-marins émergés comme au Tibet ou superposition de couches de sédiments. Le plateau du Colorado [9], fortement entaillé par l'érosion (le Grand Canyon est mondialement connu), constitue un exemple remarquable de cette dernière catégorie.

### [9] Le plateau du Colorado

Photo

Sylvain Barreau. «Le promontoire des chevaux morts», photo 8/10, GEO.fr, 25 juin 2010, [En ligne], <http://www.geo.fr/voyages/vos-voyages-de-reve/ouest-americain-far-west-grands-espaces/dead-horse-point-state-park> (Page consultée le 28 juin 2013)

Les plaines ont, comme les plateaux, une topographie plane, mais sont généralement situées à faible altitude et loin des régions actives sur le plan **tectonique** (grandes plaines d'Europe de l'est et de Russie, Prairies canadiennes, par exemple). Elles correspondent à des couches de terrain superposées à l'horizontale, alors qu'on appelle plutôt «bassins sédimentaires» ou «cuvettes sédimentaires» la superposition de couches emplissant de vastes dépressions, donc inclinées vers le centre. Les plus grands fleuves du monde coulent dans de telles plaines ou bassins dont ils collectent les eaux (Congo, Amazone, Mississippi, par exemple). En bordure des continents, de véritables plaines côtières peuvent s'édifier sur des deltas. C'est le cas du delta du Nil et du Bangladesh formé des deltas du Gange et du Brahmapoutre.

**Tectonique** – Ensemble des mouvements qui donnent naissance aux structures de la Terre. Disposition de ces structures.

Ces régions bénéficient d'un riche potentiel agricole, ainsi que de ressources minérales telles que les hydrocarbures [10], la potasse et le sel, et elles sont favorables à l'implantation humaine. Toutefois, le risque d'inondations y est élevé.

### [10] Les sables bitumineux de l'Alberta

Le pétrole est emprisonné dans les sables autrefois charriés par les fleuves jusqu'au bassin albertain.

Carte

Normand Einstein. «Fig. 3 – Carte des dépôts de sables bitumineux de l'Alberta» dans Claude Bandelier, *Problématique environnementale de l'exploitation des sables bitumineux en Alberta (Canada)*, mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du grade académique de Master en Sciences et Gestion de l'Environnement, directeur Prof. Edwin Zaccà, *Memoire Online*, Université libre de Bruxelles, 2010, [En ligne], <http://www.memoireonline.com/09/10/3922/Problematique-environnementale-de-l'exploitation-des-sables-bitumineux-en-Alberta-Canada.html> (Page consultée le 28 juin 2013)

Le noyau des continents, leur partie la plus ancienne et la plus stable, affleure à plusieurs endroits du globe sous la forme de socles et de boucliers, notamment dans le nord du Canada. Maintes fois fracturé et soudé avec des éléments disparates (*voir la carte 66, p. 40*), ce soubassement rocheux est maintenant trop rigide pour pouvoir se plisser de nouveau. Il se présente sous l'aspect de vastes surfaces bosselées et monotones mais très complexes sur le plan géologique. Défavorables à l'agriculture, les boucliers sont toutefois riches en minerais métalliques (ceux des anciens océans) et se prêtent bien à la croissance de la forêt.

Lorsqu'un continent se trouve comprimé par des poussées tectoniques convergentes, ou s'il se produit une poussée de magma («point chaud») dans ses profondeurs, il se bombe et finit par se fracturer. La fracture prend la forme d'un fossé d'effondrement très profond, aux bords abrupts : le rift continental, une zone d'intense activité volcanique. Les eaux des pluies et des cours d'eau s'y accumulent tandis qu'il s'élargit sous la poussée du magma (*voir la figure 3, p. 7*). C'est le début d'un nouvel océan, dont les rives s'éloigneront l'une de l'autre durant des millions d'années. Il

existe peu de rifts actifs à la surface des continents. On peut observer celui d'Afrique de l'est, où les Grands Lacs constituent l'amorce du futur océan Africain [11].

### [11] Le Grand Rift africain

Carte + indications schématiques superposées

J. M. Watson. «Understanding plate motions», USGS, 5 mai 1999, ([http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/East\\_Africa.html](http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/East_Africa.html)) et «Schéma structurel simplifié du rift est-africain», Vallée du Grand Rift, *Wikipédia*, s.d., [En ligne], [http://fr.wikipedia.org/wiki/Vall%C3%A9e\\_du\\_grand\\_rift](http://fr.wikipedia.org/wiki/Vall%C3%A9e_du_grand_rift) (Page consultée le 28 juin 2013)

Les cendres volcaniques sont très fertiles. Les rifts offrent également une grande variété de ressources telles que le soufre, les sels minéraux contenus dans les eaux, des métaux et des pierres précieuses. Si le processus se poursuit assez longtemps, des hydrocarbures peuvent se former. Il s'agit donc de zones recherchées, en dépit des risques.

## 1.4 Les reliefs sous-marins

Les reliefs sous-marins et continentaux sont étroitement liés, puisqu'il participent des mêmes mouvements tectoniques. Grâce à l'évolution des technologies, il est possible aujourd'hui d'observer les très grandes profondeurs. Chaque forme du relief sous-marin, qui est plus régulier que le relief terrestre, correspond à une étape géologique et à des ressources spécifiques. On distingue clairement ces différentes formes sur le planisphère (*voir la carte 59, p. 57*).

Les marges continentales constituent la zone de transition, qui est submergée, entre la croûte continentale et la croûte océanique. Une marge comprend plusieurs formes distinctes, dont la partie la plus importante est le plateau continental, ou plateforme continentale. Celui-ci s'étend en pente douce entre la ligne du rivage et le talus continental, une brusque dénivellation qui marque la fin du continent [12]. Il peut être très large, comme dans l'est du Canada qui correspond à une marge passive, ou plus étroit en bordure des côtes montagneuses qui correspondent en général à des marges actives, c'est-à-dire où se produit la subduction. Les eaux peu profondes favorisent la reproduction des espèces marines. Par ailleurs, l'accumulation des matériaux en fait des zones intéressantes pour l'exploitation minière et en particulier pétrolière. Une partie des migrations humaines s'explique probablement par le fait que des plateformes continentales, comme l'actuel détroit de Béring, ont émergé à certaines époques, lorsque la glaciation faisait baisser le niveau des mers.

### [12] Le relief sous-marin d'un océan en expansion

Schéma

Pierre-André Bourque. «Marge passive», 3.2.1 - Le relief des fonds océaniques, 3.2 – Les océans, relief, *Planète Terre*, Département de Géologie et de Génie géologique, Université Laval, Québec, 2 août 2010, [En ligne], <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/relief.oceans.html> (Page consultée le 28 juin 2013)

Les fosses, à proximité du continent et des arcs insulaires, marquent l'endroit où la croûte océanique plie et s'enfonce sous le continent, au cours du processus de subduction qui caractérise les océans ayant atteint leur maximum d'expansion [13]. C'est là que se trouvent les plus grandes profondeurs. Observez leur localisation, sur le planisphère.

### [13] Le relief sous-marin d'un océan en voie de fermeture

Schéma

Pierre-André Bourque. «Marge active», 3.2.1 - Le relief des fonds océaniques, 3.2 – Les océans, relief, *Planète Terre*, Département de Géologie et de Génie géologique, Université Laval, Québec, 2 août 2010, [En ligne], <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/relief.oceans.html> (Page consultée le 28 juin 2013)

Les plaines abyssales, ou bassins océaniques, occupent presque les trois quarts des fonds marins, de part et d'autre des dorsales. On y a découvert, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, l'importante ressource que sont les **nodules** polymétalliques, des concrétions en forme de cailloux contenant de fortes concentrations de métaux et plus particulièrement de nickel, de manganèse et de cobalt, utilisés dans l'aéronautique et dans l'industrie pétrolière (Ifremer, 2010).

**Nodule** – Petit nœud, et tout ce qui en a la forme.

Les dorsales forment un bourrelet ininterrompu de plus de 60 000 kilomètres qui sillonne tous les océans (Ifremer, 2004). Des fractures transversales (failles transformantes) permettent à cette immense cicatrice de suivre la courbure de la Terre. L'emplacement des dorsales peut varier en fonction de l'évolution de chaque océan, mais leur structure est partout semblable. La dorsale médio-atlantique se distingue par sa position centrale et sa grande régularité, épousant presque parfaitement le tracé des continents qu'elle sépare à mi-chemin. La dorsale peut parfois émerger. L'Islande, par exemple [14], n'est autre qu'une partie de la crête de la dorsale atlantique dépassant la surface des eaux : remarquez sa localisation sur le planisphère. Le rift central contient les roches les plus jeunes de la planète, puisque la lave qui renouvelle le plancher océanique y affleure continuellement. Le volcanisme demeure actif même une fois la dorsale submergée. L'existence, au fond du rift, des sources hydrothermales surnommées «fumeurs noirs» en témoigne [15]. Il s'agit de puissants jets d'une eau très foncée, d'une température pouvant atteindre 350° C et riche en minéraux dissous (Bourque, 2010).

#### [14] Paysage du rift islandais

La naissance d'un nouvel océan commence par une fracture de l'écorce terrestre. Il est rare de pouvoir observer ce phénomène dans une zone émergée.

Photo

Golf Bravo. «Photos d'Islande – Hafragilsfos», *Routard.com*, août 2006, [En ligne], <http://www.routard.com/photos/islande/67924-hafragilsfos.htm> (Page consultée le 18 juin 2013)

#### [15] Une source hydrothermale («fumeur noir»)

Au fond des mers, l'activité volcanique se manifeste par des geysers d'eau bouillante chargée de minéraux qui lui donnent sa couleur noire.

Photo

France, CNRS-INSU. *Fumeur noir*, Ifremer 2007, [En ligne], <http://www.insu.cnrs.fr/image2179,fumeur-noir.html> (Page consultée le 18 juin 2013)

## 2 L'hydrosphère

Recouvrant près des deux tiers de la croûte terrestre, l'hydrosphère est l'ensemble des eaux du globe. Elle comprend non seulement les eaux à l'état liquide (mers, fleuves, lacs et nappes souterraines), mais aussi les eaux à l'état solide (neige et glace). Ces différentes catégories existent en quantités très inégales, les eaux salées comptant pour 96,5 % du volume de l'hydrosphère (US Geological Survey, 2011).

En réalité, c'est toujours la même eau qui circule sous ces différents états, ainsi que dans l'atmosphère sous la forme gazeuse et à travers les organismes vivants. L'ensemble de cette circulation constitue le cycle hydrologique [16].

### [16] Le cycle hydrologique

Schéma

«Cycle de l'eau», *E=MCblog*, 13 avril 2006, [En ligne], <http://eeegalmcblog.over-blog.com/article-2425714-6.html> (Page consultée le 28 juin 2013)

## 2.1 Les mers et les océans

Quand nous utilisons le terme «mers», nous faisons allusion à toute espèce de grande étendue d'eau salée. Or il existe plusieurs catégories de mers et il peut être utile de les distinguer, par exemple lorsqu'il est question de frontières et de droit des États (*voir le dossier n° 5 : L'équilibre géopolitique*). Les caractéristiques des eaux, pour leur part, influent sur le mécanisme des climats et sur les ressources biologiques.

### 2.1.1 Les différents types de mers

Le terme «océan» désigne une surface continue d'eau profonde naissant de l'écartement progressif des continents (Aquaportail.com, s.d.). Il faut noter que les océans communiquent largement entre eux, de sorte qu'il vaudrait mieux parler de «l'océan mondial», à travers lequel les courants marins circulent en une «boucle océanique» planétaire (*voir la section 2.1.2*). Chaque océan possède toutefois une identité particulière due à sa configuration dans l'espace – le Pacifique occupe à lui seul la moitié de la surface des océans –, sa température, sa salinité, ses caractéristiques biologiques. De telles différences entretiennent les échanges d'énergie et la diversité des formes de vie sur l'ensemble du globe.

Les mers bordières se situent au bord des océans, prenant souvent la forme d'un golfe, d'une baie, d'un bras de mer. Elles se différencient de l'océan par une forme plus ou moins ouverte donnée par la terre qui les délimite. La mer de Beaufort, en bordure de l'océan Arctique canadien et la mer de Norvège, dans le nord de l'Europe, en constituent deux exemples. Cette catégorie de mers présente les meilleures conditions pour la formation des hydrocarbures, en raison de l'accumulation des sédiments qui s'y déversent.

Les mers intérieures communiquent avec l'océan seulement par d'étroits passages (les détroits), ou même débouchent dans une autre mer reliée à l'océan. C'est le cas de la mer Méditerranée et de la mer d'Azov, ou de la mer des Caraïbes.

Les mers fermées sont plutôt des lacs salés, car elles ne communiquent pas avec les autres espaces marins. Elles résultent surtout de mouvements tectoniques. Par exemple, la mer Caspienne et la mer d'Aral ont pour origine le rapprochement entre la plaque africaine et la plaque eurasiatique.

## 2.1.2 Les caractéristiques des eaux marines

La salinité est sans doute la plus évidente des caractéristiques des eaux marines, mais la teneur en sel varie selon le climat (évaporation, quantité de pluie), la présence ou l'absence de grands fleuves qui s'y jettent, la plus ou moins grande ouverture des mers. Il ne s'agit d'ailleurs pas seulement des chlorures les plus connus, comme le chlorure de sodium qu'est notre sel de cuisine, car tous les éléments chimiques du globe y sont présents, en concentrations variables.

Les températures varient également, selon la latitude et la profondeur des eaux. Cependant, au-delà de 200 mètres de profondeur, les rayons solaires ne pénètrent plus et la température ne dépasse guère 2 à 4°C, même sous un climat chaud (Golden, 1992). Partout également, les eaux s'échauffent et se refroidissent plus lentement que les continents, ce qui en fait de puissants agents de régulation du climat mondial.

En raison de leurs différences de température et de salinité, les eaux marines sont stratifiées en couches possédant chacune une densité distincte. Les eaux les plus lourdes sont les eaux froides et très salées, tandis que les eaux plus chaudes ou plus douces ont tendance à remonter [17]. Ces écarts, ainsi que la rotation de la Terre, déterminent la circulation des courants marins et la formation du **plancton** qui est à l'origine de la chaîne alimentaire. Le déplacement des continents a sans doute contribué aux changements climatiques du passé. Aujourd'hui, le réchauffement planétaire et la fonte des glaciers modifient eux aussi la dynamique océanique, avec des conséquences que nous ne pouvons entièrement prévoir.

**Plancton** – Minuscules organismes animaux ou végétaux flottant dans les eaux.  
Le plancton est à la base de la chaîne alimentaire.

### [17] La boucle océanique (circulation thermohaline)

Rouge : courants chauds de surface

Bleu : eaux plus froides des profondeurs

Carte schématique

«3\_2\_CirculationThermohaline.jpg (image JPEG, 700x441 pixels)», *La Recherche* n° 355, juillet-août 2002, p. 43, dans Module 2 : document complémentaire pour aller plus loin, Météorologie et climat, *Planète Environnement*, 2004, [En ligne], [http://planete-environnement.cned.fr/3/images/complements/3\\_2\\_CirculationThermohaline.jpg](http://planete-environnement.cned.fr/3/images/complements/3_2_CirculationThermohaline.jpg) (Page consultée le 28 juin 2013)

## 2.2 Les eaux douces

Les eaux continentales doivent leur existence au cycle de l'évaporation et des précipitations déterminé par la circulation océanique. Malgré leur faible volume, elles jouent un grand rôle dans l'évolution des reliefs et sont, elles aussi, essentielles à la vie.

La plus grande partie des eaux douces est inaccessible [18]. Emprisonnée dans des glaciers ou dans des nappes souterraines, elle circule cependant, mais à un rythme très lent. Par exemple, l'eau qui s'infiltré dans le sol et se purifie au cours de ce processus ressortira un jour au pied d'une pente sous la forme d'une source, ou captée par un puits.

## [18] Les réserves d'eau douce sur la Terre

Calottes glaciaires, glaciers, pergélisol	69,56 %		
Eaux souterraines	30,06 %		
Autres	0,38 %	Lacs	0,003 %
		Cours d'eau	0,006 %
		-Vapeur d'eau atmosphérique -Marais et milieux humides -Biosphère (animaux et végétaux)	0,001 %

D'après Nathalie Pajon-Perrault. «Les réserves d'eau douce sur la Terre» (graphique) dans *SIG et environnement – Éduterre*, Institut français de l'Éducation, 26 avril 2010, [En ligne], [http://accés.inrp.fr/eduterre-usages/ressources/scenario1/planetebleue/aide\\_graphe](http://accés.inrp.fr/eduterre-usages/ressources/scenario1/planetebleue/aide_graphe) (Page consultée le 26 avril 2011)

Les lacs sont souvent d'origine glaciaire, comme ceux du bouclier canadien. Plusieurs sont alimentés par des cours d'eau. Certains sont fermés, d'autres s'écoulent plus ou moins rapidement. Ils constituent en général des foyers de population et d'activité économique. C'est le cas des Grands Lacs canado-américains.

Les eaux courantes s'organisent en réseaux hiérarchisés, du plus petit ruisseau vers le grand fleuve situé au point le plus bas de sa région, un peu comme le réseau des branches par rapport au tronc d'un arbre. L'ensemble des terres drainées par un même cours d'eau et ses **affluents** forment un bassin hydrographique, également appelé bassin-versant [19], séparé du bassin hydrographique voisin par une **ligne de partage des eaux**. Celle-ci correspond en général à l'alignement des sommets les plus élevés.

**Affluents** – Un affluent est un cours d'eau qui se jette dans un autre.

**Ligne de partage des eaux** – Limite géographique entre bassins versants, à partir de laquelle les principaux cours d'eau s'écoulent dans des directions divergentes.

## [19] Les principaux bassins hydrographiques du Canada

Carte interactive

La société géographique royale du Canada. «Explorez les bassins versants du Canada», *Canadian Geographic*, 2010, [En ligne], <http://www.canadiangeographic.ca/watersheds/map/?path=francais/liste-bassins> (Page consultée le 28 juin 2013)

Les cours d'eau arrachent des matériaux aux montagnes avec une force d'autant plus grande que la pente est plus prononcée et que leur **débit** est puissant. Lorsque la pente diminue, le cours d'eau dépose une partie des matériaux transportés en commençant par les plus lourds. À l'**aval**, il ne reste que les particules les plus fines, qui s'accumulent dans un delta [20], à moins que la force de la marée soit plus importante que celle du courant fluvial. En ce cas, il se forme plutôt un **estuaire** [21], à la forme caractéristique en entonnoir. Dans les deux éventualités, les sels minéraux en dissolution dans l'eau nourrissent des prairies aquatiques (lieux de reproduction des poissons) sur le littoral et les **alluvions** déposées tout au long du parcours du fleuve – particulièrement dans les zones inondées – constituent des terres exceptionnellement fertiles. La vallée du Nil, berceau de la civilisation égyptienne, illustre bien ce rôle fécondateur des fleuves. Les estuaires sont des sites favorables à la navigation et à l'implantation de ports. Les deltas, outre leur potentiel agricole, se prêtent à l'exploitation de nombreux minéraux (dont le pétrole). Ces régions très riches sur le plan biologique sont en même temps des régions fragiles, menacées par la pollution et par les inondations.

**Débit** – Volume d'eau qui s'écoule à un endroit déterminé en un temps donné.

Le débit s'estime habituellement en mètres cubes par seconde.

**Aval** – Partie d'un cours d'eau située du côté de son embouchure. L'aval s'oppose à l'amont, qui est situé du côté de la source.

**Estuaire** – Embouchure évasée d'un fleuve, où la marée pénètre.

**Alluvions** – Sédiments déposés par un cours d'eau.

### [20] Le delta du Yukon (Alaska)

La disposition en éventail des bras du fleuve et des dépôts sédimentaires apparaît clairement sur cette photo satellite en fausses couleurs.

Photo

«Yukon Delta – Alaska, USA», dans «Extraordinary satellite photos of Earth», *Design your way*, s.d., [En ligne], <http://www.designyourway.net/blog/inspiration/extraordinary-satellite-photos-of-earth/> (Page consultée le 28 juin 2013)

### [21] L'estuaire du Saint-Laurent

Carte

Canada, Environnement Canada. «Hydrographie du Saint-Laurent», *Eau*, 28 avril 2010, [En ligne], <http://www.ec.gc.ca/stl/default.asp?lang=Fr&n=59C4915D-1> (Page consultée le 28 juin 2013)

Le régime des cours d'eau, c'est-à-dire les fluctuations du débit au cours de l'année [22], dépend du climat. Le cycle des précipitations détermine les périodes de **crue** et les périodes de basses eaux durant lesquelles un cours d'eau peut aller jusqu'à s'assécher complètement. Le débit dépend également de l'évaporation, de l'infiltration d'eau dans le sol, de la pente, de l'apport des affluents, de la quantité d'eau absorbée par la végétation, etc. Certains cours d'eau jouent un grand rôle économique malgré leur taille modeste (c'est souvent le cas en Europe de l'ouest) parce qu'ils ont un débit régulier.

**Crue** – Montée du niveau des eaux.

### [22] Quelques exemples de régimes hydrologiques

Série de diagrammes

Musy, André. Fig. 9.1, «Introduction aux régimes hydrologiques», Chap. 9 Les régimes hydrologiques, *Cours Hydrologie générale*, 4<sup>e</sup> semestre 2005, [En ligne], <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre9/main.html> (Page consultée le 28 juin 2013)

### 3 Le climat, les sols et la végétation

L'angle de l'éclairement solaire détermine la quantité de chaleur reçue du Soleil aux différentes latitudes (*voir le dossier n° 1 : L'ABC de la géographie*), chaleur que redistribuent les vents et les courants marins grâce à la rotation de la Terre. Chaque zone de climat détermine la température et le degré d'humidité de la portion d'atmosphère qui lui correspond. Des **masses d'air** se constituent, s'élèvent, descendent ou se juxtaposent en fonction de leurs différences, comme le font les courants marins [23]. L'air chaud emmagasine beaucoup d'humidité et tend à s'élever (on enregistre alors des basses pressions au sol) jusqu'à son refroidissement en altitude ou au contact d'une masse d'air froid. L'air froid emmagasine moins d'humidité et tend à descendre, ce qui se traduit par des hautes pressions au sol. Les nuages et les précipitations proviennent de la condensation qui se produit au contact entre l'air chaud saturé d'humidité et l'air froid plus sec ; les vents résultent de la circulation de ces masses d'air au sol et en altitude. Quant aux ouragans et aux cyclones [24], ils se forment au-dessus des mers chaudes, en raison de l'ascension très rapide de l'air. Le climat d'une région dépend également de sa plus ou moins grande proximité des côtes : l'influence maritime réduit les écarts de température tandis que l'influence continentale les accentue.

**Masse d'air – Portion** de l'atmosphère présentant des caractéristiques homogènes de température et d'humidité.

#### [23] La circulation des masses d'air

##### Deux cartes schématiques

Yves Kuster. «Les cellules de convection», *La dynamique des masses atmosphériques*, s.d., [En ligne], <http://eduscol.education.fr/obter/appliped/circula/theme/atmos32.htm> (Page consultée le 28 juin 2013)

Et : «FichierAirmassesorigin.gif», *Wikipedia*, 1<sup>er</sup> novembre 2011, [En ligne], <http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Airmassesorigin.gif> (Page consultée le 28 juin 2013)

#### [24] Le cyclone Andrea (Floride, 8 mai 2007)

Les cyclones se forment au-dessus des mers chaudes, grâce au mouvement ascendant rapide de l'air et à la rotation de la terre.

##### Image satellite

NASA. «Cyclone Andrea» dans «Cyclone», *Terra Nova*, juin 2007, [En ligne], <http://www.dinosoria.com/cyclone.htm> (Page consultée le 28 juin 2013)

Le climat influence, quant à lui, la qualité des sols, la végétation, le régime des fleuves, la disponibilité en eau et, par conséquent, les possibilités d'occupation humaine et le potentiel économique, en particulier agricole [25 A] [25 B].

#### [25] Les zones climatiques

##### Deux cartes

##### [25 A] Les grandes zones climatiques du globe

«Les zones climatiques», *Notre planète*, s.d., [En ligne], [http://tnmonde.tableau-noir.net/pages10/zones\\_de\\_climat.html](http://tnmonde.tableau-noir.net/pages10/zones_de_climat.html) (Page consultée le 28 juin 2013)

##### [25 B] Les climats du monde (classification de Köppen)

«La classification de Köppen», *Classification des climats, Climats du monde, Climatologie, station météo de Courtenay, Météo 45*, 29 juin 2013, [En ligne], [http://www.meteo45.com/classification\\_des\\_climats.html](http://www.meteo45.com/classification_des_climats.html) (Page consultée le 29 juin 2013)

Le climat d'un lieu se caractérise par une combinaison particulière de températures et de précipitations [26].

## [26] Deux exemples de diagrammes ombrothermiques : Ottawa (climat tempéré continental) et Madras, en Inde (climat de mousson).

Le diagramme ombrothermique superpose la courbe des températures et celle des précipitations annuelles.

### Deux diagrammes ombro-thermiques

Nathalie Carpentier. «Canada – Ottawa.png (image PNG, 516x287 pixels)», Diagrammes ombrothermiques, Exercices, *GEO3MD*, 2010, [En ligne], <http://files.geo3md.webnode.fr/200000124-5fa35609d2/Canada%20-%20Ottawa.png> et <http://files.geo3md.webnode.fr/200000132-6a5fe6b5d0/Inde%20-%20Madras.png> (Page consultée le 28 juin 2013)

## 3.1 Les différentes zones de climat

Les zones tempérées (climats océanique, continental et méditerranéen) présentent le maximum d'avantages pour l'occupation humaine, car elles sont exemptes de températures extrêmes et de cataclysmes, bénéficient du repos hivernal des sols – l'hiver tuant également microbes et parasites – et reçoivent des précipitations réparties de façon assez équilibrée sur l'ensemble de l'année. Ces particularités permettent d'assurer la diversité et la sécurité de l'approvisionnement alimentaire, en plus de garantir la régularité des cours d'eau essentiels à la satisfaction des besoins vitaux et à la navigation. Cette sécurité a engendré des surplus qui ont rendu possibles la révolution industrielle, l'urbanisation, la découverte et la colonisation de régions complémentaires, et finalement la domination économique et politique sur le reste du monde jusqu'aux dernières décennies du XX<sup>e</sup> siècle.

Les zones froides (climat polaire et subpolaire), à cause du déficit calorique, du manque de lumière, de la trop courte **saison végétative** et du gel des sols, sont impropres à l'agriculture. La faune y est toutefois très riche, particulièrement en ce qui concerne les animaux à fourrure. Les populations humaines ne peuvent guère qu'y survivre, à moins de faire partie de pays comme la Russie et le Canada, qui disposent de ressources suffisantes sur le reste de leur territoire pour mettre en valeur le potentiel de ces régions.

**Saison végétative** – Période de l'année où la croissance des plantes est possible.

Le développement des pays de la zone intertropicale (climats équatorial, tropical et de **mousson**) se heurte, quant à lui, à des contraintes nées à la fois du climat et de l'histoire. En effet, le rythme climatique ne se définit pas en fonction de saisons chaudes ou froides, mais selon le régime des précipitations (alternance d'une saison sèche et d'une saison des pluies). Le manque d'eau, ou son excès, limite énormément la gamme des productions agricoles destinées à la subsistance. En revanche, la chaleur permet la croissance de variétés inconnues dans le reste du monde. Les pays plus avancés techniquement de la zone tempérée ont donc très tôt cherché à accaparer les denrées exotiques qu'ils étaient incapables de produire chez eux, notamment les épices. La conquête coloniale a spécialisé les pays tropicaux dans ces productions, puis le **néocolonialisme** a maintenu cette relation une fois l'indépendance politique acquise, les empêchant ainsi de diversifier suffisamment leur économie et de devenir plus autonomes.

**Mousson** – Courant atmosphérique des régions intertropicales, coïncidant avec le franchissement de l'équateur par les alizés. Il déclenche des pluies torrentielles, durant une courte période de l'année, sur la plupart des régions exposées.

**Néocolonialisme** – Exploitation économique qui a succédé à la domination politique dans les pays décolonisés.

Par ailleurs, les régions chaudes du globe connaissent de multiples calamités naturelles [27] susceptibles de freiner le développement économique, car les habitants doivent sans cesse réparer et rebâtir au lieu d'investir. C'est là que se forment et circulent tornades, typhons et ouragans dévastateurs. Microbes, insectes vecteurs de maladie et parasites, qui peuvent s'y reproduire toute l'année durant, y pullulent. Les régions les plus sèches, comme le Sahel [28], sont exposées à la désertification.

## [27] L'aire de répartition des cyclones tropicaux

Carte schématique

«Trajectoires des systèmes cycloniques dans le monde», Trajectoires classiques des systèmes cycloniques sur les sept bassins, *CycloneXtrême*, 2011, [En ligne], <http://www.cyclonextreme.com/cyclonedicotrajectoire.htm> (Page consultée le 28 juin 2013)

## [28] Le Sahel

Carte schématique

Morgane Tual. «Faim au Sahel : pourquoi rien ne change», *youphil.com*, 26 septembre 2012 [En ligne], <http://www.youphil.com/fr/article/05259-faim-au-sahel-pourquoi-rien-ne-change> (Page consultée le 5 mars 2013)

## 3.2 Les sols

Un sol se forme et évolue en fonction de la nature de la roche sous-jacente (roche mère), de l'action de la température et de l'eau sur cette roche, de la pente, de la végétation qui s'y développe. À son tour, il participe à la circulation de l'eau et des minéraux et alimente la végétation. Les **écosystèmes** forment des ensembles complexes, vivants, dont chaque élément interagit avec les autres.

**Écosystème** – Ensemble de tous les éléments, vivants et non vivants, en interaction dans un milieu naturel.

Même en dehors des zones polaires et subpolaires, où ils sont gelés, tous les sols ne présentent pas le même intérêt. Certains sont trop acides, d'autres trop alcalins, ou salés. Les forêts de conifères s'accommodent bien d'une certaine acidité mais, pour l'agriculture, les alluvions des plaines constituent les meilleurs sols. Certains sols, en principe fertiles, sont toutefois particulièrement fragiles. C'est le cas de ceux des régions tropicales, vulnérables aux phénomènes du lessivage et de la formation de cuirasses ferrugineuses [29]. Le lessivage, provoqué par des pluies abondantes, entraîne au loin les éléments nutritifs du sol. Les cuirasses se forment par l'exposition du sol nu à la chaleur intense du soleil. L'évaporation est alors si forte que l'eau contenue dans le sol est aspirée à l'extérieur, tandis que les sels minéraux, qui ne se transforment pas en vapeur, s'accumulent à la surface pour y former une croûte dure, sur laquelle l'agriculture devient impossible. C'est une des raisons pour lesquelles le déboisement intensif de l'Amazonie apparaît comme un gaspillage de ressources.

## [29] Une cuirasse ferrugineuse

Cuirasse latéritique», diapositive n° 27, s.d., [En ligne], <http://giraudet.univ-tln.fr/LST/U61/CM3.ppt> (Page consultée le 5 mars 2013)

Photo

L'étendue des sols disponibles à des fins agricoles est tout aussi inégale que leur qualité, selon les régions [30]. Il faut considérer comme peu ou pas disponibles les étendues désertiques ou au contraire occupées par une végétation trop dense, les cuvettes marécageuses, les fortes pentes. Sur le planisphère, on peut en outre remarquer le contraste entre l'hémisphère Nord – composé en majorité de continents, avec de vastes étendues situées dans la zone tempérée –, et l'hémisphère Sud – majoritairement occupé par des océans et dont les superficies terrestres les plus importantes se situent dans les zones intertropicales.

## [30] L'étendue et la qualité des sols

Carte

«Le Monde Sols», Planisphères et cartes du Monde, Géo, Site Ressources en Lettres-Histoire, Lettres Histoire en LP, *FREE*, 15 mars 2006, [En ligne], [http://lettres.histoire.free.fr/lhg/geo/geo\\_monde/cartes\\_monde/monde\\_sols.jpg](http://lettres.histoire.free.fr/lhg/geo/geo_monde/cartes_monde/monde_sols.jpg) (Page consultée le 28 juin 2013)

### 3.3 La végétation

Produit du sol et du climat, la végétation évolue en s'adaptant aux autres éléments du milieu. Un équilibre relativement stable – quoique toujours dynamique – finit par s'établir, caractérisé par une «formation végétale» qui lui correspond. On associe chaque région climatique du globe à au moins une formation végétale naturelle [31]. Il s'agit normalement d'une forêt, mais si le manque de chaleur ou le manque d'eau n'autorise pas la croissance des arbres, on aura une formation herbacée (par exemple une **prairie**, une **savane**, une **steppe**), une toundra [32] ou une végétation désertique.

**Prairie** – Formation herbeuse des régions tempérées, essentiellement constituée de graminées.

**Savane** – Formation herbacée des régions tropicales, souvent parsemée d'arbres.

**Steppe** – Adaptée aux climats semi-arides chauds ou froids, la steppe se compose essentiellement d'herbes rases

#### [31] Les grandes formations végétales

Carte

«Zones de végétation monde», Géographie CM 1 CM2 cycle III Le Monde, *Tableau-noir.net*, s.d., [En ligne], [http://tntlasgeographie.tableau-noir.net/pages/zones\\_de\\_vegetation.html](http://tntlasgeographie.tableau-noir.net/pages/zones_de_vegetation.html) (Page consultée le 28 juin 2013)

#### [32] Un paysage de toundra au Groenland

La toundra est une formation végétale discontinue des régions froides, qui comprend essentiellement des lichens, des mousses et des arbres nains.

Photo

Vernay, Pierre. «Paysage de toundra au Groenland», 2011, [En ligne], <http://www.pierre-vernay.com/galerie/zoom.asp?pre=15161&NumPhoto=15163&suiv=15165&Rub=786&Diaporama=> (Page consultée le 28 juin 2013)

## 4 Les ressources essentielles

L'importance relative des différentes ressources offertes par la nature est fonction du niveau technologique atteint par une société, les ressources alimentaires correspondant aux besoins les plus fondamentaux et les plus universels.

### 4.1 Quelques ressources primordiales pour l'alimentation

Les conditions climatiques, les caractéristiques des sols et la présence ou l'absence de ressources aquatiques expliquent la diversité des régimes alimentaires à travers le monde. Toutefois, un petit nombre d'aliments indispensables comble la majorité des besoins, ce qui confère un net avantage aux pays dont la production de ces denrées est stable ou excédentaire.

#### 4.1.1 Les céréales de base

Le blé, le riz et le maïs assurent l'essentiel et sont parfois la base unique de l'alimentation pour les humains et le bétail [33]. D'autres céréales sont d'un intérêt plus local, moins connues ou délaissées, malgré leurs qualités, car elles intéressent peu l'industrie agroalimentaire (*voir l'annexe I, p. 48*).

##### [33] La consommation de céréales dans le monde

Carte

FAO. «Consommation de céréales», 2007, dans Clarisse Didelon, «Cartes des goûts, cartes du monde», *Confins*, n° 6, 2009, [En ligne], <http://confins.revues.org/5863> (Page consultée le 28 juin 2013)

Le riz nourrit la moitié de l'humanité (CNUCED, 2011). Son rendement élevé et sa croissance rapide représentent d'importants avantages. Dans certains pays, il est d'ailleurs possible de faire plusieurs récoltes par année. Cependant, sa teneur en protéines est relativement faible et il exige une nombreuse main-d'œuvre. En effet, plusieurs opérations sont nécessaires, dont le **repiquage**, et la mécanisation est difficile. De plus, le riz ne pousse que dans certaines conditions de climat et de sol : température d'au moins 20°C, eau abondante, sol imperméable. Les deltas inondables et les plaines alluviales de l'Asie du Sud-Est lui conviennent particulièrement bien, ainsi que les zones irriguées.

**Repiquage** – Pratique consistant à arracher les jeunes pousses de riz pour les replanter dans un champ inondé.

Le blé est la plante la plus cultivée (et la plus anciennement cultivée) dans le monde. Ses différentes variétés peuvent s'adapter à des climats diversifiés, il a une valeur nutritive élevée et une croissance rapide, et sa culture se prête bien à la mécanisation. Il est toutefois sensible à la sécheresse, aux maladies et aux parasites (CNUCED, 2011). On le cultive surtout dans plaines des zones tempérées (le Canada est un grand producteur) et semi-tropicales à tendance sèche comme l'Australie.

Quant au maïs, il a besoin de températures estivales élevées et d'une forte humidité durant sa période de croissance, ainsi que de sols bien drainés riches en nitrates, en phosphore et en potasse (AGPM, 2011). Les progrès de l'agronomie et de la génétique végétale ne cessent d'accroître les rendements et de diminuer les fragilités propres à chacune de ces céréales.

## 4.1.2 La pêche et l'aquaculture

Contrairement à ce qu'on imagine généralement, seules quelques régions maritimes ont un potentiel de pêche élevé : les plateaux continentaux, surtout dans les mers froides, les estuaires des cours d'eau, les zones de remontées d'eaux froides ou de contact entre courants chauds et froids, soit environ 10 % de l'espace océanique [34]. On comprend donc la concurrence entre les pays qui disposent de flottes de pêche industrielle, et le risque que fait peser sur les espèces les plus appréciées (thon, sardine, morue, par exemple) une exploitation trop intensive. Il faut rappeler que les flottes de pêche industrielle entrent également en concurrence, à l'intérieur même des eaux territoriales des pays pauvres, avec les pêcheurs traditionnels, qui se voient ainsi privés de leur gagne-pain. Enfin, la pollution et l'urbanisation menacent le renouvellement des espèces qui se reproduisent dans les milieux humides des zones côtières.

### [34] Les principales zones de pêche maritime

Carte à numériser

Jerome D. Fellmann *et al.*, «Figure 8.26. The major commercial marine fisheries of the world», *Human Geography – Landscapes of Human Activities*, 11<sup>e</sup> Édition, New York, McGraw-Hill, 2010, p. 259.

Carte interactive détaillée

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Département des pêches et de l'aquaculture. Recherche d'information géographique – Principales zones de pêche de la FAO, 2013, [En ligne], <http://www.fao.org/fishery/area/search/fr> (Page consultée le 28 juin 2013)

La pêche commerciale ne s'intéresse qu'à une petite partie des ressources en poissons, mais d'autres espèces pourraient être consommées, ainsi que le **krill**, très abondant dans les mers froides. Par ailleurs, le poisson ne sert pas seulement à l'alimentation. On l'utilise par exemple comme additif pour l'alimentation du bétail, comme engrais, comme base de produits tels que colles et laques, ainsi que dans l'industrie pharmaceutique.

**Krill** – Minuscules crustacés, se déplaçant en bancs, dont se nourrissent les baleines.

Si la pêche consiste à récolter les espèces aquatiques sauvages, l'aquaculture consiste, elle, à élever ou cultiver des espèces aquatiques. L'élevage des coquillages (huîtres, moules) se pratique depuis fort longtemps. Depuis une époque plus récente, les fermes marines se multiplient, malgré le coût des installations, les risques permanents d'épidémie et la détérioration écologique des zones côtières. La **pisciculture**, de mer ou d'eau douce, connaît en particulier un développement soutenu, qui représente peut-être le seul moyen d'assurer le renouvellement des ressources à long terme. Mais la mer produit aussi des algues, qui constituent un apport alimentaire très intéressant. Les pays d'Asie du Sud-Est, notamment le Japon, les consomment couramment, la gastronomie occidentale les a découvertes et l'industrie les utilise comme fertilisants, cosmétiques, textiles, épaississants alimentaires, produits pharmaceutiques, aliments pour le bétail... Elles serviront probablement aussi à la production de biocarburants ou à la captation du gaz carbonique. Les algues peuvent être cultivées (algoculture), comme nous cultivons sur la terre ferme des légumes et des céréales.

**Pisciculture** – Élevage des poissons.

**Photosynthèse** – Transformation, par les plantes, du gaz carbonique et de l'énergie solaire pour fabriquer de la chlorophylle (le pigment vert des végétaux). La photosynthèse dégage de l'oxygène.

La mer représentant les trois quarts du volume du globe, elle pourrait fournir bien plus que ce que nous tirons du sol, mais nous ignorons une bonne partie de son potentiel. Il importe donc, pour le futur, de préserver la capacité de **photosynthèse** des eaux superficielles, de limiter la pollution et de mieux gérer les ressources biologiques.

**Photosynthèse** – Processus de transformation de la lumière en matière organique.

## 4.2 L'eau

Sans eau, ni la vie ni le développement économique ne sont possibles, car elle est essentielle à tous les domaines de l'activité humaine. Mais les différents milieux géographiques n'en disposent pas équitablement, la disponibilité devant s'évaluer à la fois sur le plan quantitatif et sur le plan qualitatif.

- Dans les régions froides, le gel bloque la circulation de l'eau, dans le sol comme en surface.
- Les pays tropicaux secs ne disposent pas d'une quantité suffisante d'eau : les pluies y sont rares, les sources d'approvisionnement souvent éloignées et l'évaporation importante.
- Les pays tropicaux humides ont suffisamment d'eau globalement, mais les précipitations sont mal réparties dans l'année. Dans le cas des moussons, par exemple, les pluies tombent d'un seul coup sur une courte période faisant parfois beaucoup de dégâts, et le reste de l'année n'en reçoit pas du tout. Donc, trop ou trop peu.
- La zone équatoriale et les zones tempérées bénéficient d'un bon approvisionnement tout au long de l'année. Toutefois seules les secondes disposent d'une eau qualitativement satisfaisante.

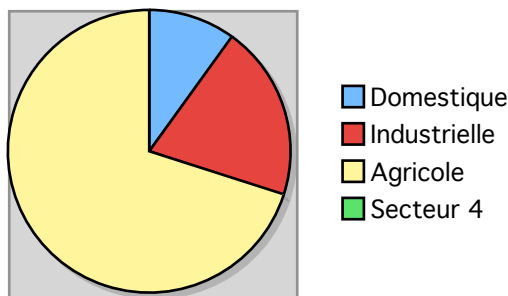
Il s'agira sans doute de l'enjeu le plus crucial du XXI<sup>e</sup> siècle, car outre les utilisations mentionnées dans la [section 2.4.2](#), l'eau est aussi, et de plus en plus, un agent à prendre en considération dans les relations politiques. L'accès à l'eau, dans certaines régions, entraîne des rivalités entre groupes sociaux, entre États. À l'inverse, la protection de l'eau exige la concertation de l'ensemble des utilisateurs.

### 4.2.1 Les utilisations de l'eau

L'eau est source de vie et d'activité économique [\[35\]](#)[\[36\]](#), mais peut également apporter la mort et la désolation (tsunamis, glissements de terrain, inondations, propagation de maladies, par exemple). Par ailleurs, une gestion inadéquate de la ressource peut compromettre l'avenir des réserves, dont le renouvellement se fait sur une base saisonnière pour les eaux de surface, mais à l'échelle de dizaines d'années ou même de siècles pour les nappes souterraines, selon leur profondeur.

#### [\[35\]](#) Les utilisations de l'eau dans le monde en 2011

- Utilisation domestique : 10 %
- Utilisation industrielle : 20 %
- Utilisation agricole : 70 %



#### [\[36\]](#) Les utilisations de l'eau (tableau page suivante)

## Les utilisations de l'eau

BESOINS PHYSIOLOGIQUES	- Boire - Hygiène corporelle (environ 2,5 litres par jour)
UTILISATION DOMESTIQUE Selon le niveau de vie, entre moins de 10 et plus de 1000 litres par jour.	- Préparation des aliments - Entretien (vêtements, logement, lavage des véhicules, etc.) - Arrosage des jardins - Piscines : une piscine hors terre contient 30 000 litres en moyenne.
UTILISATION COMMUNAUTAIRE	- Voirie - Extinction des feux - Systèmes de réfrigération et de climatisation dans les édifices
UTILISATION AGRICOLE	Irrigation (un hectare de maïs nécessite 3000 litres par jour)
UTILISATION INDUSTRIELLE	- Production d'hydroélectricité - Procédés industriels (refroidissement, bassins de décantation, nettoyage, forages pétroliers, etc.). Un forage pétrolier exige 100 000 litres d'eau par jour, La production d'une tonne de papier en exige 500 000. - Eau embouteillée (il faut 3 litres d'eau pour produire un litre d'eau embouteillée !)
AUTRES UTILISATIONS	- Pêche - Loisirs - Pertes et gaspillage

### 4.2.2 Un potentiel inégalement accessible

L'eau est le constituant principal à la fois de notre monde et du corps humain. On peut donc dire qu'on la trouve en quantité. Mais on ne peut utiliser directement l'eau des mers – à moins de la dessaler, un processus complexe et coûteux. Quant aux eaux douces, celles qui circulent en surface ne représentent qu'un infime pourcentage des eaux de la planète (*voir le tableau 18, p. 15*). On conçoit donc qu'il s'agisse de la plus précieuse de toutes les ressources. Elle devrait théoriquement suffire à nos besoins. En pratique, cependant, les inégalités sont grandes [37].

#### [37] La disponibilité en eau douce par habitant (2008)

Carte

Philippe Rekacewicz. «Cartographie – Disponibilité en eau douce», *Le Monde diplomatique*, mars 2008, [En ligne], <http://www.monde-diplomatique.fr/cartes/disponibiliteeau> (Page consultée le 28 juin 2013)

On pourrait croire que les contraintes du milieu représentent un absolu, mais un État peut les contourner, du moins temporairement, s'il en a les moyens. Ainsi, Israël a transformé une partie du désert en verger. À Las Vegas, en plein désert du Nevada (USA), on peut voir de vertes pelouses, des hôtels de plus de 3 000 chambres, des jets d'eau, une imitation de la lagune de Venise. Au surplus, le prix de l'eau y est très bas. Mais des politiques de plus en plus sévères encadrent la gestion de l'eau, dont une bonne partie est recyclée, et il n'est pas certain que ce train de vie puisse se maintenir, même à moyen terme (Besson, 2007). Au Kazakhstan, le détournement des deux fleuves alimentant la mer d'Aral, au profit de la monoculture du coton dans une zone désertique, a provoqué une véritable catastrophe écologique et humaine.

Outre l'inégalité des milieux géographiques, celle des niveaux de vie influence donc beaucoup la quantité d'eau dont dispose chaque individu. Un habitant du Mozambique doit se contenter de moins de 10 litres par jour, tandis qu'un Nord-Américain, qui entretient l'illusion d'une ressource gratuite et illimitée, en utilise plus de 400 litres par jour pour sa seule consommation résidentielle. En comparaison, un Européen de l'Ouest en consomme moins de 200 (Agence Science-Pressé, 2010) .

Sur le plan qualitatif, 80 % de l'ensemble des maladies qui affectent les pays pauvres sont véhiculées par l'eau (typhoïde, choléra, poliomyélite, différents types de diarrhées, maladies parasitaires, etc.) et des milliers d'enfants en meurent (OMS, 2004). De nombreux groupes humains ne disposent que d'une eau polluée, boueuse, contaminée par les déchets humains, les bactéries (le milieu chaud favorise la multiplication des microbes) ou infestée par les parasites. Une des principales causes de contamination est le manque d'égouts répondant à des normes suffisantes. L'ignorance des principes d'hygiène en est une autre. Il ne faut pas oublier la pollution agricole et la pollution industrielle. Les pays en développement accueillent souvent les industries dangereuses qui ne sont plus les bienvenues dans les pays riches, ou tout simplement les industries qui y bénéficient d'importants bassins de main-d'œuvre à bon marché et de la faiblesse des lois destinées à protéger l'environnement.

Un milieu chaud et sec impose des besoins élevés en eau (besoins domestiques, irrigation, notamment). Or, non seulement l'accès à l'eau est problématique, mais le contexte social (pauvreté, lacunes de l'éducation) rend plus difficile encore l'utilisation judicieuse de la ressource disponible (Boinet, 2011). Ajoutons que les gouvernements accordent fréquemment la priorité à des réalisations plus spectaculaires que les puits et les pompes, alors même que des femmes passent jusqu'à six heures par jour pour aller chercher de l'eau et la ramener dans des récipients qui peuvent peser plus de 20 kilos une fois remplis.

Le manque d'eau défavorise l'agriculture et le développement industriel, la mauvaise qualité affecte la santé des populations. Cependant, le progrès technique et la croissance démographique augmentent les besoins en eau. Il est donc indispensable d'envisager une politique globale de l'eau afin d'assurer la satisfaction des besoins présents et de sauvegarder l'avenir de la ressource la plus vitale. Déjà, près d'un milliard d'humains sont privés d'eau, trois milliards n'ont pas accès à une eau saine (Boinet, 2011) et la demande est appelée à croître de façon exponentielle. Dans les débats internationaux, le concept du droit à l'eau se heurte à celui de la propriété de l'eau. La perspective d'une éventuelle commercialisation d'eau en vrac suscite d'énormes convoitises et le Canada se trouve au cœur de tels enjeux, en raison de l'abondance de ses ressources et de son statut de partenaire de l'ALENA.

### 4.3 Les ressources énergétiques et minérales

La Terre, l'atmosphère et l'eau contiennent de multiples minéraux qui peuvent représenter autant d'atouts économiques et géopolitiques, à condition d'être accessibles et commercialement rentables. Les uns sont renouvelables, les autres constituent un capital que chaque génération diminue un peu (ou beaucoup) plus. Parmi les biens à la fois utiles et rares, certains sont absolument vitaux, ou capables d'assurer la domination d'un État sur d'autres. On parlera alors de ressources stratégiques. Le diamant, l'or, l'uranium, par exemple, ont une valeur assez élevée pour alimenter des guerres, comme on le voit notamment en Afrique subsaharienne.

Par ailleurs, une ressource peut être connue, utile, rare, et ne pas être exploitée si elle coûte trop cher à extraire, car c'est le bénéfice possible qui détermine la **rentabilité** [38].

**Rentabilité** – Rapport positif entre l'investissement engagé et le bénéfice réalisé.

*Voir également l'annexe II, p. 49 : Les ressources des mers*

### [38] Les ressources minérales du Québec

Le Québec est richement doté en minerais, dont plusieurs ne sont pas encore exploités.

#### Carte

Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'Information géologique du Québec. «Mines actives et projets miniers de mise en valeur et de développement» (carte coul. au 1/8 500 000, janvier 2011) [En ligne], <http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/mines/projets-mines.pdf> (Page consultée le 28 juin 2013)

Lorsque les besoins étaient faibles, on faisait peu la distinction entre ressources renouvelables et non renouvelables. Aujourd'hui, on peut redouter les conséquences des abus de l'exploitation.

- Les ressources renouvelables sont celles que la nature fournit régulièrement et rapidement (à l'échelle d'une vie humaine), en quantité abondante : lumière, chaleur, vent, cours d'eau, ensemble des **biomasses** animale et végétale.

**Biomasse** – Masse totale des êtres vivants subsistant en équilibre dans un milieu donné.

- Les ressources non renouvelables sont celles que la nature produit très lentement (en millions d'années dans le cas des combustibles fossiles) ou irrégulièrement. Pour tenter de prévoir ce qu'il sera possible d'extraire avant leur épuisement, on estime les réserves en poids, en volume ou en années de production.

Ces catégories demeurent tout de même relatives. Par exemple, une exploitation irresponsable peut compromettre le renouvellement de certaines ressources en principe renouvelables, comme l'eau douce ou le bois.

### 4.3.1 Les ressources minérales

Les minerais constituent une catégorie de ressources très diversifiée. L'intérêt de chacun dépend non seulement des conditions de la production mais aussi de l'évolution des technologies. Ainsi, des entreprises minières ont commencé à prospecter les sites possibles d'extraction de l'uranium au Québec, prévoyant que l'on aura davantage recours à l'énergie nucléaire dans 25 ans.

Le fer et le charbon ont permis la première révolution industrielle. L'industrie lourde, notamment la **sidérurgie**, conditionne l'autonomie d'un pays sur le plan économique (fabrication d'outils et mise en place d'infrastructures de base comme les moyens de transport, par exemple) et sa puissance militaire (fabrication d'armements). Elle a également entraîné le développement d'importants foyers de peuplement (*voir le dossier n° 3 : La question démographique*). Aujourd'hui, les Etats-Unis et la Chine tirent encore du charbon une part très importante de leur production électrique. C'est d'ailleurs le charbon qui devrait connaître la plus forte croissance de toutes les sources d'énergie, dans le monde, d'ici 2030 (AIE, 2010).

**Sidérurgie** – Industrie de l'acier

Initialement, les sites sidérurgiques se localisaient autant que possible à même les gisements de matière première, attirant sur place les travailleurs, mais les lieux de production se sont progressivement dissociés des lieux de transformation, en fonction des objectifs de rentabilité. La production industrielle s'est donc délocalisée. Pourquoi faire voyager sur de longues distances une matière première lourde et volumineuse, alors qu'il suffit de construire des usines à proximité des sites de production en utilisant les nombreux travailleurs à bon marché des pays en développement ? Les pays riches ont vu se généraliser le phénomène de la **désindustrialisation**. À l'emplacement des anciens complexes d'extraction et de transformation, on trouve les «**friches** industrielles» de la **rust belt**, qui se reconvertissent progressivement à de nouvelles activités telles que récréation, industries de pointe, ou autres.

**Désindustrialisation** – Départ des industries vers d'autres pays ou régions.

**Friche** – Terrain laissé à l'abandon, inculte.

**Rust Belt** – Zones abandonnées par les anciennes industries.

Les hydrocarbures (catégorie à laquelle appartiennent le pétrole et le gaz naturel) sont les composés organiques les plus simples, constitués de carbone – la matière première des organismes vivants – et d'hydrogène (*Actu-Environnement*, s.d.). Ils ont une grande importance économique, puisqu'on peut les utiliser à la fois comme

carburants, comme combustibles et comme matières premières industrielles. Le pétrole, avec l'électricité, est à la base de la seconde révolution industrielle (deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle), celle des transports, grâce à laquelle les grandes puissances économiques ont pu drainer à leur profit les ressources du monde. Ironiquement, c'est aussi grâce à la révolution des transports que la désindustrialisation a pu s'effectuer par la suite.

Si l'électricité peut être produite à peu près n'importe où en utilisant diverses méthodes (énergie hydraulique, atome, etc.), le pétrole et le gaz naturel ne se trouvent qu'en certains endroits [39] et ne sont pas renouvelables, puisque leur formation prend des millions d'années. Cependant, de nouvelles technologies et de nouvelles zones d'exploration ont fait reculer le spectre de la pénurie. Si le potentiel des régions arctiques se confirme, le Canada pourrait devenir la seconde puissance pétrolière mondiale pour les réserves, après l'Arabie Saoudite (Rodgers, 2010) [40]. Au Groenland, la fonte rapide de la glace sur le continent lui-même permet d'envisager une mise en exploitation plus rapide que prévu, et à des coûts bien plus bas. L'exploitation des ressources situées au large des côtes est cependant plus difficile, entre autres à cause de la présence d'icebergs.

### [39] Les réserves mondiales de pétrole

Carte

Benoît Thévard. «Un avenir sans pétrole ? Combien reste-t-il de pétrole disponible ?», *Overblog*, 11 juin 2011, [En ligne], <http://www.avenir-sans-petrole.org/article-combien-reste-t-il-de-petrole-disponible-55357768.html> (Page consultée le 20 avril 2012)

### [40] Les réserves d'hydrocarbures au Canada

Carte

«Pétrole - carte Bassins pétrolifères, image 1 de 2», *L'Encyclopédie canadienne*, 2011 [En ligne], <http://www.thecanadianencyclopedia.com/index.cfm?PgNm=TCE&Params=f1ARTf0006252> (Page consultée le 28 juin 2013)

L'importance du pétrole dans tous les domaines n'est plus à démontrer [41]. Au début des années 1970, la première crise du pétrole a mis en lumière la dépendance des pays industrialisés envers leurs fournisseurs, notamment ceux du Moyen-Orient. Aujourd'hui, malgré une prise de conscience des risques, nous en dépendons plus que jamais.

### [41] Les utilisations du pétrole (Tableau page suivante)

## Les utilisations du pétrole

UN TIERS COMME CARBURANT (transport des personnes et des produits)	UN TIERS POUR L'INDUSTRIE (combustible et matière première)	UN TIERS POUR LE CHAUFFAGE, L'ÉLECTRICITÉ ET L'ALIMENTATION
<p>Construction de routes (goudron, asphalte).</p> <p>La société industrielle est conditionnée par la mobilité des échanges.</p> <p>Plus du tiers de tout le pétrole produit est consommé par les véhicules (autos, camions, avions), ainsi que par les fusées les navires, les tanks, les machines agricoles...</p> <p>L'augmentation du niveau de vie et les progrès techniques ont fait exploser la consommation depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle.</p>	<p>- Comme combustible</p> <p>- Faire tourner les machines</p> <p>- Atteindre la température de fonctionnement dans des industries comme : métallurgie, cimenterie, verrerie, etc.</p> <hr/> <p>Comme matière première de la pétrochimie</p> <p>- Plastiques, fibres, caoutchouc synthétique.</p> <p>- Pesticides, engrais.</p> <p>- Peintures, vernis, encres, adhésifs.</p> <p>- Colorants, détergents, solvants, etc.</p> <p>- Médicaments.</p> <hr/> <p>Dans l'industrie automobile</p> <p>L'industrie automobile est née du pétrole (c'est en discutant avec Rockefeller et en examinant son produit que Henry Ford a mis en œuvre le moteur à explosion).</p> <p>- Elle a été longtemps la première industrie manufacturière des pays riches.</p> <p>- Première pourvoyeuse d'emplois jusqu'à très récemment.</p> <p>- Poste majeur du commerce international, des investissements, de la consommation.</p>	<p>Dans l'agriculture</p> <p>- Carburant pour les machines agricoles</p> <p>- Protéines alimentaires dérivées d'hydrocarbures destinées à l'alimentation du bétail (donc directement transformées en viande)</p> <p>- Base des engrais et autres dérivés de l'industrie chimique.</p>

Relativement aux perspectives d'avenir, un discours persistant veut que le monde ait atteint un «pic» pétrolier, c'est-à-dire un maximum possible de production, au-delà duquel commence le déclin. Les réserves de pétrole liquide (conventionnel) commenceraient à s'épuiser, justifiant la mise en production, à des coûts financiers et écologiques importants, du pétrole contenu dans les sables (c'est sous cette forme que l'on trouve la plus grande partie du pétrole mondial) et, de plus en plus, en fracturant les formations rocheuses (gaz et pétrole de schiste). Pour le moment, le Canada est le seul pays à exploiter les sables bitumineux [42] à grande échelle. Les ouragans dans le golfe du Mexique font peser une incertitude sur la capacité de cette région à fournir un approvisionnement fiable. La politique d'exploitation, qui maximise le profit aux dépens de la sécurité, comme l'a démontré en 2010 l'explosion de la plateforme *Deepwater Horizon*, nous oblige quant à elle à mettre en doute la capacité des sociétés pétrolières à bien gérer les risques dans des zones aussi fragiles et difficiles d'accès que les environnements maritime [43] ou polaire. L'acceptabilité sociale de l'exploitation n'est d'ailleurs pas acquise. Mais les énergies de remplacement ne sont pas encore au rendez-vous, la dépendance à l'égard du pétrole demeure bien réelle et une pénurie véritable pourrait occasionner des conflits. Pénurie de moins en moins probable, cependant, les réserves maintenant accessibles par fracturation étant gigantesques.

#### [42] Les sables bitumineux de l'Ouest canadien

Les rejets de l'industrie polluent des cours d'eau qui servent également aux besoins des communautés humaines.

Photo

AFP. «Sables bitumineux : une exploitation mal surveillée, concluent des experts», dans Hugo de Grandpré, *La Presse*, 22 décembre 2010, Environnement, *CYBERPRESSE.CA*, [En ligne], <http://www.cyberpresse.ca/environnement/dossiers/les-sables-bitumineux/201012/21/01-4354577-sables-bitumineux-une-exploitation-mal-surveilee-concluent-des-experts.php> (Page consultée le 28 juin 2013)

#### [43] Une plateforme de forage pétrolier en mer

Les plateformes de forage extracôtier sont exposées à un environnement à la fois dangereux et vulnérable.

Photo

«La fin du pétrole : les mensonges», *AutoMotoConso.com*, 19 septembre 2007, [En ligne], <http://www.automotoconso.com/leblog/?p=454> (Page consultée le 28 juin 2013)

Le règne du pétrole a entraîné des bouleversements majeurs sur les plans économique et politique. Les États producteurs se sont parfois fabuleusement enrichis. C'est le cas de l'Arabie saoudite et des émirats du golfe Persique, qui attirent aujourd'hui des millions de travailleurs étrangers. D'autres pays, tel le Mexique, se sont au contraire endettés pour mettre leurs ressources en exploitation au moment où les cours étaient moins favorables. Les puissances occidentales interviennent militairement pour protéger leurs intérêts dans les régions productrices politiquement instables, comme elles l'ont fait en Irak, tout en recherchant de nouvelles sources d'approvisionnement. On observe aujourd'hui les efforts de la Chine pour se procurer le pétrole nécessaire à un développement économique fulgurant. Ses énormes besoins exercent une pression à la hausse sur les prix mondiaux et réorientent toute la géopolitique planétaire. Ainsi, la Chine cherche à s'approvisionner en Afrique et en Amérique latine, cette dernière étant considérée jusqu'au début du siècle comme une chasse gardée des États-Unis. Des pays émergents comme le Brésil ont pu affirmer leur leadership régional face à l'emprise étatsunienne en privilégiant des partenariats avec l'Asie (Daudelin, 2010). Ces quelques exemples aident à comprendre quels enjeux représente la maîtrise des sources de production et des voies de transport du pétrole (*voir le dossier n° 5 : L'équilibre géopolitique*).

Les ressources dites stratégiques donnent au pays qui les contrôle un avantage décisif, du point de vue économique et/ou politique. Nous pouvons constater que tel est bien le cas du pétrole puisque, sans lui, on ne peut concevoir aucune puissance économique ou militaire. Le gaz naturel entre de plus en plus dans cette catégorie, car il représente une alternative intéressante au pétrole en tant que source d'énergie. Les Européens, par exemple, doivent ménager les susceptibilités de la Russie pour garder ouvert le robinet du gaz, crucial pour eux.. Le Canada possède un potentiel considérable, qui n'est pas encore pleinement exploité. La prospection pétrolière et gazière se poursuit dans l'axe du Saint-Laurent, y compris dans l'environnement fragile de l'estuaire. Des techniques comme la fracturation des roches par injection d'eau et de produits chimiques donnent accès, depuis quelques années, à de nouveaux gisements de gaz («gaz de schiste»), mais la crainte des répercussions environnementales et les contraintes d'un milieu densément habité freinent la mise en exploitation. Comme pour le pétrole, des techniques de forage plus sécuritaires... ou une augmentation substantielle du prix du gaz entraîneraient certainement un développement accéléré de l'extraction. Mais peut-être d'autres ressources, comme les **hydrates de gaz** que nous commençons à peine à découvrir, prendront-elles le relais.

**Hydrates de gaz** – Mélange très concentré d'eau et de gaz, situé sous les sols gelés de l'Arctique, qui renferme plus d'énergie que le charbon, le pétrole et le gaz naturel réunis.

Certains minerais servent spécifiquement à des fins militaires, par exemple les métaux qui permettent de fabriquer des alliages spéciaux destinés au matériel spatial ou aux technologies de pointe (c'est le cas du vanadium). D'autres minerais comme l'uranium sont indispensables au fonctionnement de l'industrie nucléaire. Perdre le contrôle de ces matières premières peut affecter gravement la capacité productrice et la sécurité d'un État. Or, il s'agit généralement de minerais rares, qui ne se trouvent que dans certaines régions du monde. Régions qui deviendront bien sûr l'objet d'une vive concurrence entre les États susceptibles d'utiliser ces ressources.

Enfin l'eau, dont nous avons souligné le besoin vital, appartient de plus en plus à la catégorie des ressources stratégiques, au même titre sinon davantage que le pétrole. Les questions frontalières et le contrôle du débit de l'eau ont toujours constitué des enjeux politiques, et la question de la vente de l'eau, dans un monde de plus en plus assoiffé, ne peut que prendre de l'importance.

### 4.3.2 Les ressources énergétiques

Les formes traditionnelles de production énergétique comprennent le travail humain ou animal (énergie musculaire) et les énergies disponibles dans la nature : force de l'eau, du vent, du soleil. On peut qualifier toutes ces énergies de «vivantes». La révolution industrielle a pu apparaître grâce à la «domestication» du charbon, un combustible fossile. Par la suite, le pétrole et l'électricité, puis l'atome ont ouvert de nouvelles possibilités dans la production d'énergie [44]. Actuellement, les énergies alternatives (souvent appelées énergies douces, ou renouvelables) nous ramènent à l'utilisation des forces naturelles, mais font l'objet de recherches en vue d'une utilisation plus efficace : énergie solaire et énergie éolienne, auxquelles il convient d'ajouter l'hydrogène et quelques autres [45].

#### [44] Les énergies à fort potentiel de développement

Source d'énergie	Avantages	Inconvénients
Hydroélectricité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réputée non polluante</li> <li>- Renouvelable</li> <li>- Les barrages servent aussi à régulariser les crues, à l'irrigation, à la pêche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lignes de transport à haute tension (champs électromagnétiques, corridors déboisés)</li> <li>- Transformateurs (produisent des BPC)</li> <li>- Inondation de vastes territoires et de leurs ressources <ul style="list-style-type: none"> <li>• Accumulation de mercure</li> <li>• Bouleversement des écosystèmes</li> <li>• Déplacements de populations</li> </ul> </li> <li>- Ouvrages très coûteux</li> <li>- Rentabilité variable en fonction des débits d'eau</li> <li>- Impossible à stocker</li> <li>- Potentiel limité en comparaison des besoins</li> </ul>
Gaz naturel	Pollue moins que le pétrole	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contribue à l'effet de serre</li> <li>- Très explosif</li> </ul>
Atome (nucléaire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seule source d'énergie autre que les hydrocarbures capable de couvrir les besoins des pays émergents</li> <li>- Fort rendement énergétique</li> <li>- La fusion, plutôt que la fission de l'atome, représenterait une solution très intéressante</li> <li>- Pour le Canada, forte capacité d'exportation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risques (accidents, déchets, transport, terrorisme)</li> <li>- Utilisation à des fins militaires possible</li> <li>- Courte durée de vie des installations et renouvellement coûteux</li> <li>- Opposition de l'opinion publique</li> <li>- Stagnation de la recherche durant plusieurs années</li> <li>- Puissant lobby nucléaire qui accapare les subventions au détriment de la recherche sur les énergies vertes</li> </ul>

[45] Les énergies alternatives

Source d'énergie		Avantages	Inconvénients
Solaire		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Renouvelable</li> <li>- Non polluante</li> <li>- Illimitée</li> <li>- Peut être développée en milieu urbain</li> <li>- Avantagerait les pays tropicaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stockage difficile</li> <li>- Dépend de l'ensoleillement</li> <li>- Recherche peu avancée en Amérique du Nord</li> <li>- Coût élevé des installations</li> </ul>
Éolienne		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Renouvelable</li> <li>- Non polluante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiert des lieux isolés</li> <li>- Vents variables</li> <li>- Stockage impossible</li> <li>- Peu rentable (coût élevé en regard d'une production limitée)</li> <li>- Pollution visuelle et sonore</li> <li>- Perturbation possible des flux aériens</li> </ul>
Énergie des mers		Voir l'annexe II p. 49.	
Géothermie	Vapeur (geysers)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puissante (de l'ordre de 50 000 fois plus que le pétrole et le gaz réunis)</li> <li>- Quasi gratuite</li> <li>- Renouvelable</li> <li>- Fiable</li> <li>- En principe non polluante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de sites (faiblesses tectoniques) limité</li> <li>- Stockage impossible</li> <li>- Risques sismiques</li> </ul>
	Forages pétroliers	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Résidus salins</li> </ul>	
Hydrogène		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Non polluant</li> <li>- L'eau est abondante</li> <li>- Efficacité énergétique (deux fois le moteur à essence)</li> <li>- Renouvelable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Développement lié aux progrès de la recherche dans les piles à combustibles</li> <li>- Technologie encore peu avancée</li> <li>- Coûts encore élevés</li> <li>- Timidité des gouvernements</li> </ul>
Énergies biologiques	Bois		Exploitation catastrophique (désertification)
	Biogaz	Déchets utilisés à 100%	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessité d'une collecte efficace</li> <li>- Risque de pollution</li> </ul>
	Éthanol	Contribuerait à diminuer la dépendance envers le pétrole, qui est plus polluant	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les terres ne sont plus disponibles pour la production alimentaire</li> <li>- Pas aussi écologique qu'on l'a affirmé : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Forte consommation d'eau</li> <li>• Utilisation de machines lourdes et de pétrole</li> <li>• Recours aux engrais chimiques et aux OGM</li> </ul> </li> </ul>
	Biomasse végétale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peu coûteuse (récupère les déchets forestiers)</li> <li>- Fort rendement énergétique</li> <li>- Pas de rejets polluants</li> <li>- Cendres utilisées comme engrais ou pour la construction de routes</li> </ul>	Quantité limitée

Les mers constituent une réserve constante et inépuisable d'énergie propre, que nous ne maîtrisons pas encore. Peu de sites se prêtent au harnachement de l'énergie des marées (centrales marémotrices). Celle des courants et des vagues (énergie cinétique) est d'une puissance inouïe mais dispersée. La technologie des **hydroliennes** [46] commence toutefois à se développer. Quant à l'énergie thermique, tirant parti des différences de température entre la surface plus chaude et les couches plus profondes des eaux, elle n'est pas encore à notre portée. Les principaux freins à l'exploitation de toute cette énergie sont d'ordre technique (problème du transport de l'énergie produite, concurrence avec d'autres activités comme la pêche et la navigation, par exemple), financier et environnemental.

**Hydrolienne** – Turbine flottante ou immergée, qui utilise l'énergie de l'eau comme une éolienne utilise celle du vent pour produire de l'électricité.

#### [46] Une hydrolienne

Une hydrolienne fournit la même puissance qu'une éolienne sous un volume beaucoup plus faible.

Photo

Marine Current Turbines. «Seagen – hydrolienne de 1,2 MW», L'hydrolienne, éolienne sous-marine, Industrie et Recherche, *Écosources Info*, 2008, [En ligne], [http://www.ecosources.info/dossiers/Hydrolienne\\_eolienne\\_sous-marine](http://www.ecosources.info/dossiers/Hydrolienne_eolienne_sous-marine) (Page consultée le 28 juin 2013)

La production et la consommation de l'énergie se mesurent le plus souvent au moyen d'une unité appelée «tep» : tonne d'équivalent pétrole. Par exemple, 1,6 tonne de charbon ou 1000 m<sup>3</sup> de gaz naturel équivalent à une tonne de pétrole (INSEE, s.d.). L'utilisation d'une mesure uniforme permet de constater qu'en dépit des ralentissements temporaires ou des hausses de prix occasionnés par les crises économiques, la consommation mondiale d'énergie s'accroît à mesure que progressent le niveau de vie et la population totale. Toutefois, nous avons aujourd'hui conscience des limites dans la disponibilité des ressources et dans la capacité de l'environnement à absorber le stress de l'extraction. Nous nous tournons donc vers les énergies renouvelables... dans la mesure où elles pourront combler les besoins et permettre un minimum de rentabilité. Le défi est grand puisque l'AIE prévoit un accroissement de 55 % de la consommation mondiale d'énergie, d'ici à 2030 (AIE, 2010).

La consommation d'énergie est l'un des critères permettant de mesurer le niveau de vie et de développement [47]. Elle reflète les inégalités importantes qui existent entre les pays. Toutefois, une différence de consommation peut refléter non une différence de niveau de vie mais une attitude plus économe. De même, le travail humain, celui des animaux, l'énergie produite par les déchets végétaux et les déjections animales ne sont pas évalués. Ils parviennent pourtant à combler l'essentiel des besoins dans plusieurs pays en développement.

#### [47] La répartition de la consommation énergétique mondiale en 2011

Graphique et dossier explicatif

AIE. «La consommation d'énergie finale et primaire dans le monde», 2011, *Consommation d'énergie finale dans le monde*, Connaissance des Énergies (CDE), 23 mars 2012, [En ligne], <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/chiffres-cles-production-d-energie> (Page consultée le 30 juin 2013)

Quels sont les principaux domaines de la consommation énergétique ?

- L'agriculture est la plus faible utilisatrice directe, mais elle dépend de plus en plus des engrais chimiques, des carburants, des sources de chauffage (agriculture sous serres, par exemple), y compris pour la production d'éthanol à partir de maïs ou de canne à sucre. Pour cette raison, ce carburant alternatif ne contribue pas à l'amélioration du bilan énergétique.
- Les transports représentent environ le quart de la consommation mondiale, dont la moitié pour l'automobile. Leur part augmente de façon continue. Malgré des remises en question dues en bonne partie à la hausse du prix du pétrole et à la crise économique survenue en 2008, nous sommes encore loin d'un changement de cap en ce domaine.
- L'industrie est la principale consommatrice (40 % de l'énergie mondiale).
- Le reste, soit environ le tiers, répond aux besoins du secteur des services et de la consommation domestique, notamment le chauffage (AIE, 2010).

Les ressources énergétiques et minérales sont disponibles en abondance, et les énergies renouvelables ont un potentiel pratiquement illimité. Cependant, la présence de ces ressources sur le territoire d'un État ne garantit pas son développement économique : encore faut-il être en mesure de les exploiter à son propre profit. Cela exige une capacité financière et technologique, dont nous pouvons nous demander si elle ne trouve pas son origine dans le milieu géographique plus clémente où les sociétés occidentales ont pu prospérer à l'abri des excès climatiques.

## Sous la loupe...

### De la dérive des continents à la tectonique des plaques<sup>1</sup>

À l'échelle humaine, rien ne semble plus immobile qu'un continent. Pourtant, puisque le mécanisme de la tectonique des plaques nous est devenu familier, nous savons maintenant que tel n'est pas le cas. Comment a-t-on découvert le mode de fonctionnement de cette gigantesque machine, et que nous enseigne son observation ?

### Que faut-il entendre au juste par «continent» ?

Le terme «continent» ne fait pas l'unanimité. Certains auteurs parleront plutôt de «parties du monde», selon le découpage adopté (par exemple, le continent austral est formé de l'Australie et de l'Antarctique, deux entités distinctes, tandis que l'Asie et l'Europe forment un seul continent eurasiatique). Le géographe français Pierre George définit ainsi un continent : «... grande surface de terres entourée par des océans» (George, 1990). La géographie étudie en effet les formes visibles du terrain, alors que la géologie définit les continents en fonction de la nature des roches et de la dynamique d'ensemble de la croûte terrestre. La notion de continent, dans ce cas, ne se confond pas avec celle de «terre émergée». Les terres émergées comprennent aussi des îles ; les continents, eux, comprennent des parties submergées : les plateaux continentaux. Enfin, le relief de la Terre, domaine on ne peut plus géographique, englobe les formes sous-marines. La véritable limite des continents est en réalité le talus continental, une pente abrupte au-delà de laquelle commence la croûte océanique [48][49]. Cette limite géologique a le mérite de ne pas dépendre du niveau des mers, mais elle est souvent masquée par les amas de sédiments (**glacis**) qui s'accumulent au pied des talus continentaux.

**Glacis** – Bordure en pente douce, zone de transition.

#### [48] La véritable limite des continents

##### Schéma

Pierre-André Bourque. «Vie et structure des océans», 1<sup>er</sup> septembre 2004, dans *Futura Environnement*, 30 avril 2012, [En ligne], [http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/oceanographie/d/vie-et-structure-des-océans\\_410/c3/221/p2/](http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/oceanographie/d/vie-et-structure-des-océans_410/c3/221/p2/) (Page consultée le 28 juin 2013)

#### [49] Les principales plaques tectoniques

##### Carte et dossier explicatif

- «Les principales plaques tectoniques», *La structure de la Terre – Une perpétuelle évolution : la tectonique des plaques*, La géologie, s.d., déchets radioactifs.com, [En ligne], <http://www.dechets-radioactifs.com/defi-science-technique/contexte-geologique/structure-terre/planete.html> (Page consultée le 30 juin 2013)
- «II- Les zones de subduction», La tectonique des plaques et les volcans, *Volcans du monde*, 20 novembre 2009, [En ligne], <http://lesvolcansdumonde.blog4ever.net/blog/lire-article-330146-1522288-la-tectonique-des-plaques-et-les-volcans.html> (Page consultée le 30 juin 2013)

## La dérive des continents

Dès l'époque des grandes découvertes, à partir du XV<sup>e</sup> siècle, explorateurs et cartographes avaient remarqué une ressemblance entre le tracé de la côte occidentale de l'Afrique et celui de la côte orientale de l'Amérique du Sud.

---

<sup>1</sup> Toute cette section constitue une version plus détaillée du texte du chapitre. On ne s'étonnera donc pas des redites. Elle constitue également une synthèse des notions exposées dans différents chapitres de *Un monde en mouvement, Géographie – Carte du monde* (Chantal Grenier et Nathalie Thibault, Laval, Études vivantes, 1995, 290 p.).

Quelle pouvait en être la cause ? Après trois siècles de débats scientifiques, la théorie la plus convaincante – et qui finit par s'imposer – est celle de la dérive des continents, également appelée théorie de Wegener. Alfred Wegener, météorologue allemand, cherchait à expliquer la succession, en un même lieu, de différents climats. Pourquoi, par exemple, trouve-t-on des traces de fougères tropicales au Groenland ? Il élaborait une théorie fort audacieuse pour l'époque (1915) : ce sont les continents, et non les espèces ou les climats, qui se déplacent.

Wegener supposait une masse continentale originelle unique, la Pangée, baignant dans un océan unique, la Panthalassa<sup>2</sup>. Ce continent se serait fractionné, il y a 200 millions d'années, en deux supercontinents : le Gondwana (ancêtre commun de l'Afrique, de l'Amérique du Sud, de l'Australie, de l'Antarctique et de l'Inde) et la Laurasia (ancêtre de l'Eurasie et de l'Amérique du Nord). Par la suite, la fragmentation se serait poursuivie [50] pour aboutir à la configuration actuelle des continents. En s'éloignant les uns des autres, les continents entraîneraient avec eux des espèces autrefois réunies et les amèneraient sous d'autres climats.

«Prouver la dérive, écrit Wegener, revient à assembler les morceaux déchiquetés d'un journal en se fiant uniquement à leurs contours, pour vérifier ensuite que les lignes imprimées se raccordent correctement. Si tel est bien le cas, il ne reste plus qu'à conclure que les morceaux étaient bien disposés ainsi à l'origine» (Wegener, 1915). Cette théorie, en effet, explique non seulement l'emboîtement des côtes mais aussi les corrélations climatiques et géologiques entre des continents aujourd'hui séparés : formations rocheuses, fossiles, gisements minéraux s'assemblent en un tout cohérent lorsqu'on rapproche les continents. On remarque par exemple la continuité des terrains entre le Brésil et l'Afrique de part et d'autre de l'Atlantique Sud [51]. La même continuité s'observe de part et d'autre de l'Atlantique Nord, le système montagneux des Appalaches trouvant son prolongement dans les massifs anciens de Grande-Bretagne et d'Europe du Nord. On peut ainsi supposer que l'océan Atlantique n'a pas toujours existé.

## [50] La dérive des continents

4 cartes schématiques et un dossier

- «Figure 2», 3) Quelques grandes étapes du mouvement des plaques, décisives pour les pôles, Fiche Savoir n° 2 – *Tectonique des plaques : une Terre en mouvement*, Scribd, s.d., [En ligne], <http://fr.scribd.com/doc/54764948/Tectonique-Des-Plaques> (Page consultée le 30 juin 2013)
- Une animation : «Dislocation de Pangée (du Trias à aujourd'hui)», article *Pangée*, Wikipédia, 30 juin 2013, [En ligne], <http://fr.wikipedia.org/wiki/Pang%C3%A9e> (Page consultée le 30 juin 2013)
- «Mouvements et histoire des continents», *Continents et océans*, Bibliothèque virtuelle, Allô Prof, 31 mai 2012, [En ligne], <http://bv.alloprof.qc.ca/geographie/continents-et-océans.aspx> (Page consultée le 30 juin 2013)

## [51] Les corrélations géologiques de part et d'autre de l'Atlantique sud

Carte schématique

Pierre-André Bourque. «La dérive des continents», *Planète Terre*, Département de géologie et de Génie géologique, Université Laval, 2 août 2010, [En ligne], <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s1/derive.html> (Page consultée le 28 juin 2013)

Malgré ces preuves, Wegener n'a pas été pris au sérieux et l'idée de la dérive des continents a été temporairement abandonnée, faute d'une explication globale du mécanisme. Ce sont les progrès de deux branches de la géophysique, l'océanographie et l'étude du magnétisme des roches, qui vont lui permettre de refaire surface à partir des années 1950 et d'être définitivement acceptée. Un scientifique canadien, le docteur Tuzo Wilson, de l'Université de Toronto, a contribué d'une façon importante à ces progrès, qui donneront naissance à la théorie de la tectonique des plaques.

## La tectonique des plaques

Stimulées par les deux guerres mondiales, l'observation du monde sous-marin et la mise au point d'instruments de mesure très sensibles ont permis de faire des découvertes d'une importance comparable à celle de la conquête

---

<sup>2</sup> Pangée et Panthalassa sont formés à partir du grec *pan* (tout), *gê* (terre) et *thalassa* (mer).

spatiale. Les observations recueillies sur le **paléomagnétisme**, notamment, allaient jouer un rôle capital : elles ont apporté la preuve irréfutable de la dérive des continents et permis d'élaborer enfin une explication globale du mécanisme lithosphérique.

**Paléomagnétisme** – De *paléo* (ancien). Aimantation des roches au cours des temps géologiques.

## a) Le paléomagnétisme

Les roches enregistrent l'orientation du champ magnétique de la Terre (qui s'inverse périodiquement) au moment où elles se forment. À la surface du globe, leur disposition est très complexe, mais au fond des océans toutes les roches de la même époque sont aimantées dans la même direction, avec une alternance régulière de polarité, tantôt nord, tantôt sud. Elles se juxtaposent en bandes parallèles, dont l'âge diminue à mesure que l'on s'éloigne des continents [52].

### [52] Le paléomagnétisme

Blocs diagrammes et texte explicatif

«La mise en évidence de l'expansion océanique», *SVTMarcq.over-blog.com*, 4 février 2012, [En ligne], <http://svtmarcq.over-blog.com/article-la-mise-en-evidence-de-l-expansion-oceanique-1ere-s-96325577.html> (Page consultée le 28 juin 2013)

Ces découvertes sur le magnétisme des roches ont amené les océanographes britanniques Fred Vine et Drummond Matthews à formuler, en 1963, l'hypothèse de la formation continue de nouvelle matière lithosphérique (magma provenant du manteau) au fond des océans. Cette matière nouvelle, en se solidifiant, élargirait les fonds océaniques, repoussant les continents de part et d'autre. C'est donc l'expansion des fonds océaniques qui expliquerait le déplacement des continents à la surface. Mais si de la matière nouvelle s'ajoute continuellement à l'écorce terrestre, comment se fait-il que la Terre conserve toujours les mêmes dimensions ? Et pourquoi ne trouve-t-on aucune roche de plus de 200 millions d'années au fond des océans ? Il faut admettre que les matériaux plus anciens de l'écorce se détruisent quelque part en quantité équivalente à la matière récemment formée, principe que le géophysicien canadien Peter Hood a comparé à celui d'un tapis roulant.. Cela suppose toute une dynamique d'ensemble, appelée «tectonique des plaques». Celle-ci fournit une explication logique à la dérive des continents et à la localisation de l'activité sismique et volcanique. Mais pour bien la comprendre, il faut faire intervenir une autre découverte : celle du rôle des fosses et des dorsales océaniques.

## b) La mobilité du plancher océanique

Jusqu'au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, on croyait le fond de la mer nu et plat. Lors de la pose du premier câble télégraphique reliant l'Amérique du Nord à l'Europe, on s'est aperçu, avec stupéfaction, qu'un relief colossal traversait l'Atlantique [53][54]. C'était en fait une partie du plus gigantesque système montagneux de la planète, long de plus de 60 000 kilomètres, large de 1500 kilomètres en moyenne, et d'une hauteur pouvant atteindre 3000 mètres. On lui donna le nom de «dorsale» parce qu'il évoquait l'image d'une colonne vertébrale. L'examen des profils par échosondage (sonar) a révélé une structure symétrique de part et d'autre d'une fracture centrale, le «rift», siège d'une intense activité volcanique. Les dorsales qui sillonnent le fond des autres océans présentent les mêmes structures.

### [53] La dorsale médio-atlantique

Carte

«Dorsale médio-océanique à droite passant par l'Islande», Les particularités de l'Islande, 2011, [En ligne], <http://volcan-islandais.webnode.fr/products/i-a-quoi-est-du-le-volcanisme-islandais/> (Page consultée le 28 juin 2013)

## [54] L'Islande est un sommet émergé de la dorsale médio-atlantique

Carte

Bernard Duyck. «Islande : formation et géologie», *earth-of-fire*, 11 avril 2011, [En ligne], <http://earth-of-fire.over-blog.com/article-islande-formation-et-geologie-71865422.html> (Page consultée le 28 juin 2013)

Sous la poussée des courants de convection formant un «point chaud» (violente montée du magma en colonne), la croûte terrestre se bombe, s'amincit et se fissure [55]. Cet espace constitue le fond du rift, par lequel remontent les matériaux fondus venus de l'asthénosphère. En se solidifiant, les épanchements successifs finissent par former une série de bandes parallèles de part et d'autre de la zone centrale d'**accrétion**, et c'est leur accumulation qui constitue la croûte océanique. La datation des roches a permis d'évaluer la vitesse à laquelle les nouveaux épanchements éloignent les continents de la fracture centrale : le fond de l'Atlantique s'élargit de 2,5 centimètres par an et celui du Pacifique de presque 10 centimètres. Voilà pourquoi les câbles sous-marins se brisaient régulièrement !

**Accrétion** – Juxtaposition d'éléments géologiques récents à des éléments déjà en place. Accroissement de la masse terrestre.

## [55] La formation d'un rift

A

Bloc diagramme

Pierre-André Bourque. «Vie et structure des océans», 1<sup>er</sup> septembre 2004, dans *Futura Environnement*, 30 avril 2012, [En ligne], [http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/oceanographie/d/vie-et-structure-des-oceans\\_410/c3/221/p2/](http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/oceanographie/d/vie-et-structure-des-oceans_410/c3/221/p2/) (Page consultée le 28 juin 2013)

B

Bloc diagramme et dossier explicatif complet

Robert Six (blogue). «Figure 8 – Naissance d'un océan», *La Tectonique de plaques*, 19 septembre 2012, [En ligne], <http://robertsix.wordpress.com/2012/09/19/553/> (Page consultée le 30 juin 2013)

Au bout d'environ 200 millions d'années, la poussée centrale est équilibrée par la résistance des continents. La croûte océanique, plus lourde et plus dense que la croûte continentale et toujours en expansion, plonge sous celle-ci pour finalement se fondre dans l'asthénosphère [56]. C'est dans les fosses en bordure des continents que disparaît la partie la plus ancienne de la croûte océanique. Selon plusieurs océanographes, cette plongée pourrait contribuer à l'écartement de la fissure centrale des dorsales, en raison de la formidable traction exercée par la **subduction** de la croûte descendante.

**Subduction** – Plongée d'une plaque lithosphérique dans les profondeurs de l'asthénosphère.

## [56] L'expansion de la croûte continentale et la plongée de la croûte océanique

Bloc diagramme

«Fond de l'océan», *Dictionnaire visuel*, QA International, 2011, [En ligne], <http://www.ikonet.com/fr/ledictionnairevisuel/terre/geologie/fond-de-ocean.php> (Page consultée le 28 juin 2013)

Le plancher océanique se renouvelle donc continuellement. Des mesures prises par laser à partir de satellites confirment les hautes températures de l'écorce terrestre au niveau des dorsales et la croissance régulière de celles-ci par suite de la montée du magma. Nous pouvons apercevoir quelques-uns de leurs sommets émergés, comme l'Islande ou l'archipel des Açores dans l'Atlantique Nord, et même assister à la naissance d'un nouvel océan à partir d'une jeune dorsale, dans l'est de l'Afrique (région des Grands Lacs, de la mer Rouge et du golfe d'Aden) [57].

## [57] Le Grand Rift africain

Carte

James Wood et Alex Guth. Figure 2, «East Africa's Great Rift Valley : A Complex Rift System», The Geological Society of America, *geology.com*, s.d., [En ligne], <http://geology.com/articles/east-africa-rift.shtml> (Page consultée le 28 juin 2013)

En conséquence, l'enveloppe de la Terre est à concevoir non pas comme une alternance de terres et d'océans, mais comme un ensemble de plaques rigides qui se déplacent sur l'asthénosphère, faisant surgir chaînes de montagnes, volcans et îles sur leurs limites.

## c) Les frontières des plaques tectoniques

Il existe plusieurs types de limites entre les plaques tectoniques [58][59]. À chacun d'eux correspond un modèle particulier d'activité contribuant à la mise en place et à l'évolution des reliefs du globe.

### [58] Les plaques tectoniques, leurs limites et leurs mouvements

Trois dossiers illustrés + animation

- «Les mouvements», Dynamique terrestre, WordPress, s.d., [En ligne], <http://emroy19.wordpress.com/les-mouvements/> (Page consultée le 30 juin 2013)
- «Les zones de subductions actuelles – Volcans», Saga Science, *Dossier Géomanips*, Centre national de la recherche scientifique (CNRS), France, s.d., [En ligne], [http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosgeol/01\\_decouvrir/02\\_subduction/04\\_subduction\\_plaques/01\\_terrain/03a.htm#01](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosgeol/01_decouvrir/02_subduction/04_subduction_plaques/01_terrain/03a.htm#01) (Page consultée le 30 juin 2013)
- Marco. «La tectonique des plaques», Conséquences d'une structure en plaques, *Dossiers*, Podcast Science, 8 novembre 2012, [En ligne], <http://www.podcastscience.fm/tag/plaque-continentale/> (Page consultée le 30 juin 2013) (Version audio disponible)

### [59] Les limites de plaques et les reliefs du globe

Carte

«Les fosses océaniques», *L'eau des océans*, Astronoo, 1<sup>er</sup> juin 2013, [En ligne], <http://www.astronoo.com/fr/articles/fosses-oceaniques.html> (Page consultée le 30 juin 2013)

## Les limites entre plaques divergentes

Les limites divergentes, également appelées limites constructives, existent à l'emplacement des dorsales. C'est en effet là que deux plaques tectoniques s'éloignent l'une de l'autre, marquant la naissance d'un océan. Les dorsales ne sont pas rectilignes : elles suivent la courbure de la Terre, grâce à une succession de fractures transversales à l'axe de la dorsale [60]. Ces failles, dites «transformantes», découpent la dorsale en une suite de segments légèrement décalés les uns par rapport aux autres et provoquent des séismes [61].

### [60] Les limites entre plaques divergentes

Cartes, diagrammes et dossier explicatif schématique

Voir «Trois dossiers illustrés» ci-dessus.

## [61] Les failles transformantes

Sans les failles transformantes, la dorsale médio-océanique ne pourrait être courbe, puisque l'accrétion est perpendiculaire à l'axe.

Carte et bloc diagramme

«La mise en évidence de l'expansion océanique», *SVTMarcq.over-blog.com*, 4 février 2012, [En ligne], <http://svtmarcq.over-blog.com/article-la-mise-en-evidence-de-l-expansion-oceanique-1ere-s-96325577.html> (Page consultée le 28 juin 2013)

L'exploration des fonds marins au moyen d'engins téléguidés a permis d'observer l'activité géologique qui s'y déroule. Dans le rift, des cheminées hydrothermales («fumeurs noirs»), hautes de 3 à 10 mètres, s'alignent dans l'axe de la dorsale. De l'eau s'infiltré par les fissures de la croûte nouvellement durcie, aux abords de la zone axiale, percole dans la roche encore chaude et ressort par d'autres fissures, chargée de minéraux (notamment des sulfures), à des températures entre 150 et 400°C. C'est le dépôt de ces minéraux qui forme les cheminées. Fait étonnant, on a découvert toute une faune d'animaux géants (crabes, vers, bivalves) dans cet environnement particulièrement hostile. Les roches saturées de minéraux laissés par l'eau constituent des gîtes très riches. On les retrouve sur les continents lorsque les anciens fonds marins ont été portés en altitude par les mouvements tectoniques (comme actuellement au Tibet). Des richesses minières telles que l'amiante – dont le Québec est richement pourvu – ou le cuivre ont une origine marine.

## Les limites entre plaques convergentes

Le rapprochement de deux plaques [62] attire davantage l'attention que leur écartement, car il engendre une forte activité sismique et volcanique sur les marges des continents [63], alors que le volcanisme lié aux limites divergentes se localise au centre des océans. Plusieurs des régions les plus densément peuplées du globe en subissent les contrecoups.

## [62] Les limites entre plaques convergentes

Voir «Trois dossiers illustrés», p. 37

## [63] L'activité sismique et volcanique associée à la subduction

### 63 A – L'activité déclenchée par la subduction

### 63 B – Le cas du Japon

Bloc diagramme (A) et carte (B)

«La mise en évidence de l'expansion océanique», *SVTMarcq.over-blog.com*, 4 février 2012, [En ligne], <http://svtmarcq.over-blog.com/article-la-mise-en-evidence-de-l-expansion-oceanique-1ere-s-96325577.html> (Page consultée le 28 juin 2013)

Deux plaques peuvent coulisser l'une contre l'autre (cisaillement, ou limite conservatrice), comme cela se produit entre les tronçons d'une dorsale lorsque cette dernière tourne. Ainsi, la faille de San Andreas, en Californie, correspond à une zone où la plaque du Pacifique se déplace vers le nord-ouest en glissant contre la plaque nord-américaine qui, elle, se dirige vers le sud-est : repérez les deux plaques sur la carte [64]. Lorsque des blocages empêchent un glissement régulier, la tension s'accumule jusqu'à ce qu'un séisme se produise, comme à Los Angeles en janvier 1994 ou le *Big One* prévu pour... bientôt, sans que l'on puisse préciser davantage.

## [64] La faille de San Andreas

La faille de San Andreas délimite la frontière entre les plaques pacifique et nord-américaine, qui glissent l'une contre l'autre à la vitesse d'environ 5 centimètres par an.

Page suivante.

### Photo

«La mise en évidence de l'expansion océanique», *SVTMarcq.over-blog.com*, 4 février 2012, [En ligne], <http://svtmarcq.over-blog.com/article-la-mise-en-evidence-de-l-expansion-oceanique-1ere-s-96325577.html> (Page consultée le 28 juin 2013)

### Photo

Nasa. «Photo spatiale montrant la fracture créée par la faille», Limites des plaques, Faille de San Andreas, Quand la Terre nous livre ses secrets, *Dinosoria*, 2008, [En ligne], [http://www.dinosoria.com/san\\_andreas.htm](http://www.dinosoria.com/san_andreas.htm) (Page consultée le 28 juin 2013)

### Cartes : aujourd'hui / dans 10 millions d'années

«La mise en évidence de l'expansion océanique», *SVTMarcq.over-blog.com*, 4 février 2012, [En ligne], <http://svtmarcq.over-blog.com/article-la-mise-en-evidence-de-l-expansion-oceanique-1ere-s-96325577.html> (Page consultée le 28 juin 2013)

La majorité des plaques convergentes correspondent cependant à des zones de subduction (limites destructives). La plongée de la croûte ancienne s'effectue en bordure des continents. C'est pourquoi on retrouve les plus grandes profondeurs marines à ces endroits plutôt qu'au centre des océans, qui est au contraire occupé par les hauts reliefs des dorsales. Remarquez, sur la carte [59], p. 57, l'emplacement et la forme des fosses. Celles-ci présentent l'aspect de tranchées, parfois longues de plus de 1000 kilomètres et dont les profondeurs varient entre 6400 mètres (profondeur maximale des plaines abyssales) et 11 034 mètres dans le Challenger Hole (point le plus bas de la fosse des Mariannes, dans le Pacifique [65]). Fait surprenant, on y a trouvé des créatures capables de vivre dans l'obscurité la plus totale, sous une pression d'une tonne par centimètre carré. Les fosses sont des lieux privilégiés pour la détection précoce des séismes.

### [65] La fosse des Mariannes

### Bloc diagramme

«Image : mariann1-1313069864.jpg», *QuestMach?ne*, s.d., [En ligne], [http://www.questmachine.org/article/Les\\_reliefs\\_sous-marins](http://www.questmachine.org/article/Les_reliefs_sous-marins) (Page consultée le 28 juin 2013)

Une proportion de 80 % du volcanisme et des séismes mondiaux est associée à l'activité tectonique sous-marine dans les zones de subduction, particulièrement sur le pourtour du Pacifique (arcs insulaires de la «ceinture de feu»). La plaque océanique qui s'enfoncé entraîne avec elle de l'eau de mer et des sédiments qui vont augmenter le volume et changer la nature du magma en atteignant l'asthénosphère. L'expulsion de ces matières infiltrées se manifeste souvent par un volcanisme à caractère explosif, comme celui du mont Saint Helens (État de Washington) et du mont Pinatubo (Philippines) au cours de leur éruption respective en 1980 et 1991.

Au cours du déplacement des plaques convergentes, l'espace entre les continents rétrécit. Les sédiments qui tapissent les fonds marins, comprimés, forment des bourrelets – des arcs insulaires – et tôt ou tard ils finiront par s'agglomérer au continent après avoir comblé les fosses (processus d'accrétion). Lorsque les continents sont suffisamment rapprochés pour arriver face à face (collision continentale), des chaînes de montagnes se créent (**orogénèse**).

**Orogenèse** – Formation des chaînes de montagnes (du grec *oros*, qui signifie «montagne» et *genesis*, qui signifie «génération»).

En Amérique du Nord, des reliefs maintenant usés comme les Appalaches soulèvent de très anciennes plaques. L'Oural correspond à la jonction des plaques européenne et eurasiatique. Actuellement, la formation des chaînes de type alpin se poursuit. L'Himalaya (qui résulte de la collision entre l'Inde, autrefois une île, et la plaque eurasiatique) et les Alpes (qui résultent de la collision encore incomplète entre la plaque eurasiatique et la plaque africaine) en sont deux exemples. Plus près de nous, de part et d'autre du Pacifique, les Andes et les montagnes Rocheuses qui bordent les Amériques, ainsi que les arcs insulaires asiatiques, représentent un stade plus jeune de fermeture d'un océan. La subduction qui s'opère sur les deux rives est plus rapide que la création de croûte océanique au centre. Il faudra encore des millions d'années avant que les deux bords se soudent, mais une importante activité sismique et volcanique a lieu dans ces zones. Sur la côte Ouest canadienne, l'île de Vancouver, qui se rapproche de la côte et se soulève (Ressources naturelles Canada, 2008) fait l'objet d'une surveillance particulière.

Pourquoi les reliefs des chaînes alpines atteignent-ils des altitudes de plusieurs milliers de mètres ? Plusieurs mouvements cumulent leurs effets dans les zones de subduction : la compression des sédiments marins, le volcanisme consécutif à la subduction et l'accrétion au continent d'éléments étrangers transportés par la plaque mouvante. Le continent sous lequel plonge la plaque océanique se trouve lui aussi comprimé et soulevé. Les éléments **exotiques** s'incorporent aux chaînes en **surrection** et se soulèvent avec elles. Soumises à une forte pression, les roches deviennent légèrement plastiques, formant de gigantesques plissements.

**Exotique** – Qui provient de l'extérieur. Dont les caractéristiques diffèrent sensiblement des éléments du lieu considéré.

**Surrection** – Soulèvement.

## Le visage changeant de la Terre

Comprendre le passé nous aide à entrevoir l'avenir, si les mêmes mécanismes continuent d'agir. Que peut-on prévoir pour les prochains millions d'années ?

Plusieurs hypothèses ont tenté d'expliquer l'origine de la croûte continentale. La plus probable est celle d'une **protocroûte** formée très tôt après la naissance de la Terre et composée des matériaux les plus légers, remontés à la surface du manteau comme l'écume sur un liquide en ébullition, tandis que les éléments les plus lourds s'enfonçaient pour former le noyau. Cette croûte était sans doute plus homogène que les plus anciennes roches connues (4 milliards d'années), qui résultent probablement déjà de multiples transformations du fait de l'érosion, du volcanisme, de la submersion, de l'éclatement, des collisions). Les racines des anciennes montagnes, maintenant usées, permettent de repérer l'emplacement des collisions passées, mais il est difficile de reconstituer leur histoire avec certitude, le temps ayant effacé les formes du terrain, modifié la nature des roches par la cuisson et la pression, et dispersé les indices. La Pangée elle-même résulte donc vraisemblablement de l'agglomération de masses continentales préexistantes.

**Protocroûte** – Du grec *protos* (premier). Première forme de la croûte terrestre.

En ce qui concerne l'Amérique du Nord, le projet scientifique canadien Lithoprobe, amorcé en 1986, a révélé un passé beaucoup plus mouvementé qu'on ne le supposait [66].

### [66] Le Canada, une mosaïque continentale

Carte

Earth & Planetary Sciences (EPS), McGill University. *Lithoprobe Methodology*, s.d., [En ligne], <http://www.eps.mcgill.ca/~litho/method.html> (Page consultée le 28 juin 2013)

Sept microcontinents ou «provinces» géologiques se sont soudés il y a 1,8 à 2 milliards d'années. À l'une des jonctions tectoniques, dans la région des Grands Lacs, on trouve les racines d'une chaîne de montagnes longue de 4000 kilomètres, qui était aussi haute que l'Himalaya il y a près de 2 milliards d'années. Un épisode semblable de construction continentale se déroule aujourd'hui sur la côte Ouest. Au cours des 200 derniers millions d'années, notre continent s'est accru d'environ 500 kilomètres à l'Ouest. L'Alaska, il y a 150 millions d'années, n'existait pas. Cette région, ainsi que la côte Ouest des Etats-Unis, est une agglomération de fragments disparates d'époques et d'origines différentes, autrefois dispersés à travers tout le Pacifique. Les zones de contact de ces microplaques renferment l'essentiel des ressources minérales du continent. Comme toute la Pangée s'est probablement formée de la même façon, on poursuit actuellement des recherches sur les anciennes collisions à l'origine de ce mégacontinent. Déterminer les meilleurs sites de prospection minière constitue l'un des principaux objectifs de ces recherches.

Au cours de son histoire, la Terre a connu trois grandes phases d'orogénèse, séparées par des intervalles plus calmes. Il y a 400 millions d'années, l'orogénèse calédonienne a fait apparaître les chaînes de la Scandinavie, du nord des îles britanniques et de l'est de l'Amérique du Nord. Le plissement hercynien-appalachien, il y a 300 millions d'années, représente le second paroxysme. Il correspond à la naissance des Appalaches, ainsi que de la plupart des massifs anciens d'Europe et d'Asie centrale. Enfin, les systèmes alpins, encore actifs, résultent de l'épisode le plus

récent qui a débuté il y a environ 50 millions d'années (Alpes, cordillère des Andes, Himalaya, arcs insulaires asiatiques) [67]. Repérez ces grands systèmes montagneux *sur la carte* [59], p. 37.

## [67] Le plissement himalayen

### Deux blocs-diagrammes

«La Terre bouge, détruit et crée la vie ou la découverte de la biogéologie», *NaturenDanger*, Canalblog, 3 mars 2006, [En ligne], <http://naturendanger.canalblog.com/archives/2006/03/03/1398937.html> (Page consultée le 30 juin 2013)

### Cartes et photos

- «Géographie de l'Inde», *Wikipédia*, 14 avril 2012, [En ligne], [http://fr.wikipedia.org/wiki/Géographie\\_de\\_l'Inde](http://fr.wikipedia.org/wiki/Géographie_de_l'Inde) (Page consultée le 30 juin 2013)
- «Subduction océanique-océanique», *L'orogénèse (formation des montagnes)*, Bibliothèque virtuelle, Allô Prof, 17 septembre 2012, [En ligne], <http://bv.alloprof.qc.ca/science-et-technologie/la-terre-et-l'espace/les-phenomenes-geologiques-et-geophysiques/l%27orogense-%28formation-des-montagnes%29.aspx> (Page consultée le 30 juin 2013)

Puisque les continents se sont réunis ou au contraire fracturés plusieurs fois dans le passé, on imagine que la répartition des continents, dans une cinquantaine de millions d'années, ne sera plus la même. La Méditerranée se referme, la partie Est de l'Afrique se détache, l'Inde continue à s'enfoncer sous la plaque eurasiatique, l'Australie remonte «rapidement» vers l'Asie du Sud, l'Afrique et l'Amérique du Sud s'éloignent l'une de l'autre. En Russie, un rift continental commence à se former sous le lac Baïkal. La formidable pression engendrée par la collision entre l'Inde et l'Asie provoque de nombreux contrecoups sur tout le continent asiatique et les satellites mettent en évidence des fractures qui expliquent la forte activité sismique en Asie centrale et en Chine. La coupure de l'Asie s'amorce, semble-t-il, selon un déroulement analogue à celui du rift de l'Afrique orientale. Les ensembles **physiographiques**, sur une longue échelle de temps, paraissent ainsi migrer à la surface du globe et, en un même lieu, des ensembles différents se succèdent : montagnes jeunes, massifs anciens, plateaux, plaines, socles et boucliers, tous reliés au lent ballet des continents. Leur étude n'est pas celle de masses figées, mais bien d'un dynamisme, de la traversée de différents cycles de vie, comparable au passage des saisons.

**Physiographique** – Relatif à la description des formes de la surface de la Terre.

Toute la mécanique des plaques entraîne le déplacement de volumes considérables de matériaux. Les restes des montagnes effacées par l'érosion (sable, gravier, minéraux métalliques, pierres précieuses), transportés par les fleuves jusqu'aux océans, s'accumulent dans les deltas et sur les plateaux continentaux ou sont entraînés au fond des mers. Ils alimenteront plus tard la formation de nouveaux reliefs en un cycle perpétuel et complexe. Le Bangladesh, l'un de ces deltas, contient une accumulation de sédiments (prélevés par l'érosion dans la chaîne de l'Himalaya) dont l'épaisseur équivaut à la hauteur de ces montagnes. Si les fleuves ne les arrachaient à mesure que la chaîne se soulève, celle-ci aurait des altitudes deux fois plus élevées ! Mais le poids des sédiments exerce une pression sur le magma, qui s'enfoncé, cherchant plus loin un exutoire dans une zone de faiblesse de la croûte terrestre : le prochain point chaud.

## En conclusion

Le visage de notre planète est donc une réalité éphémère, sans cesse en mouvement. Les montagnes actuelles deviendront un jour de simples collines, puis des socles arasés. Dans un tel contexte, l'expression «solide comme le roc» est à relativiser ! Mais d'autres reliefs apparaîtront ailleurs et le visage de la Terre sera d'autant plus différent que la disposition des reliefs influence la circulation des vents et la répartition des précipitations. La disposition des océans influence quant à elle la dynamique des courants marins. On le voit, l'évolution des reliefs ne modifie pas seulement les paysages mais aussi les climats, la végétation, les ressources.

On pourrait s'attendre à ce que les populations humaines fuient les régions où se produisent les bouleversements liés à l'évolution tectonique. Mais ce sont eux qui ont généré la vie. Ils se déroulent sur de si longues périodes que plusieurs générations peuvent vivre en paix dans les zones les plus dangereuses et que les pires cataclysmes (séismes, éruptions volcaniques, raz-de-marée) apparaissent comme des événements ponctuels. Par ailleurs, il y a souvent tant

de ressources (terres fertilisées par la cendre volcanique, sources chaudes et minéraux, entre autres) qu'on y trouve souvent de fortes concentrations humaines. Les civilisations ont intégré ces risques à leurs mythologies et à leurs religions, elles y adaptent leur mode de vie. Mieux connaître le jeu des forces naturelles permettra d'en prévoir plus efficacement les déchaînements et de mieux bénéficier des ressources qu'elles procurent.

## Sous la loupe...

### L'Antarctique : des ressources encore inexplorées

Seul continent sans hommes, dont le territoire n'appartient à aucun pays, l'Antarctique représente à la fois un environnement extrême et fascinant, un laboratoire pour l'étude du milieu terrestre et un réservoir de ressources neuves [68]. En raison de sa difficulté d'accès, son exploration n'a débuté qu'au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, en grande partie motivée par l'exploitation commerciale des phoques et des baleines. Cette région deux fois plus vaste que l'Australie repose pour le moment sous des milliers de mètres de glace. Il n'est donc pas question de prospection ailleurs que sur ses côtes et au large, mais ce qu'on y a vu suscite des convoitises.

#### [68] L'Antarctique

##### Deux cartes

- «Carte de l'Antarctique avec les méridiens», CartoGraf.fr, s.d., [En ligne], [http://www.cartograf.fr/images/map/continent-antarctique/carte\\_antarctique\\_avec\\_meridiens.jpg](http://www.cartograf.fr/images/map/continent-antarctique/carte_antarctique_avec_meridiens.jpg) (Page consultée le 30 juin 2013)
- «Carte de l'Antarctique», CartoGraf.fr, s.d., <http://www.cartograf.fr/carte-antarctique.jpg> [En ligne], <http://www.cartograf.fr/carte-antarctique.jpg> (Page consultée le 30 juin 2013)

Le continent blanc est protégé, pour le moment, par un traité international : le traité de l'Antarctique (*voir le dossier n° 5 : L'équilibre géopolitique*) qui interdit toute activité minière jusqu'en 2041. Par la suite, l'attrait pour les richesses qu'il renferme pourrait bien avoir raison de la volonté de préserver cet écosystème unique.

La calotte glaciaire contient la plus grande réserve d'eau douce de la planète. Durant les années 1970, des projets de remorquage d'icebergs en direction de contrées assoiffées telles que la péninsule Arabique ont vu le jour, mais ont été ensuite abandonnés pour des raisons financières et techniques (par exemple la difficulté d'un emballage adéquat, la durée du voyage, les vagues). D'autres éléments, comme les préoccupations environnementales et les progrès dans les méthodes de dessalement de l'eau de mer ou du recyclage de l'eau ont contribué aussi à la mise au rancart de cette idée, qui refait actuellement surface sous d'autres formes. Ainsi, des entreprises pratiquent la «chasse» aux petits icebergs pour en concasser la glace à partir de leurs bateaux et convertir celle-ci en eau embouteillée, à destination de marchés différents de ceux qui étaient ciblés à l'origine puisqu'on peut trouver cette eau dans les supermarchés du Québec (Audette-Chapdelaine, 2007). Ce qui se pratique actuellement, dans les zones grises du droit, à partir des icebergs terre-neuviens ou groenlandais pourrait évidemment s'appliquer aux icebergs de l'Antarctique.

L'abondance des ressources minérales ne le cède en rien à celle de l'eau. La théorie de la tectonique des plaques confirme l'hypothèse selon laquelle l'Antarctique aurait été autrefois au centre d'un ensemble continental unique : le supercontinent de Gondwana, dont la fragmentation a donné naissance aux continents que nous connaissons [69]. Il devrait donc logiquement contenir les mêmes minéraux que le sud de l'Afrique, de l'Amérique, de l'Inde et de l'Australie, riches en pierres précieuses, minéraux industriels et métaux d'intérêt stratégique (charbon, or, cuivre, molybdène, nickel, plomb, zinc, graphite, notamment).

#### [69] L'Antarctique, une partie du Gondwana

##### Carte

«Carte de l'Antarctique et des alentours», CartoGraf.fr, s.d., [En ligne], [http://www.cartograf.fr/images/map/continent-antarctique/carte\\_antarctique\\_alentours.jpg](http://www.cartograf.fr/images/map/continent-antarctique/carte_antarctique_alentours.jpg) (Page consultée le 30 juin 2013)

Le passé géologique laisse également supposer la présence d'importants gisements pétroliers et gaziers, que le développement des techniques de forage en eau profonde rendent de plus en plus attrayants. Cependant, le climat, la banquise, les plateformes de glace et la présence d'icebergs gigantesques demeurent des obstacles de taille à l'exploration et, s'il y a lieu, à l'exploitation. En outre, ces activités entreraient en conflit avec l'exploitation des

ressources biologiques, qui sont considérables. Les eaux regorgent en effet de plancton, de krill, de poissons et de baleines. En dépit de ces restrictions :

- la Russie a entrepris une exploration qu'elle qualifie de recherche scientifique (ce qui est compatible avec le traité de l'Antarctique) ;
- l'Australie a présenté à l'ONU ses revendications d'État côtier afin d'étendre sa souveraineté au-delà des 200 milles nautiques actuels sur la plateforme continentale, comme le permet l'**UNCLOS** (*voir le dossier n° 5*).

**UNCLOS** – United Nations Convention on the Law of the Sea (Convention des Nations unies pour le droit de la mer). L'UNCLOS définit les différents types de frontières maritimes et les principes généraux d'exploitation des ressources des mers.

Le développement de la technologie a réduit l'éloignement relatif du continent austral et permet de mieux surmonter la rigueur du climat. C'est pourquoi les eaux de l'Antarctique sont de plus en plus exploitées. La pêche, qui s'est développée depuis les années 1970, concernait au début essentiellement le krill et des poissons connus comme le colin austral. D'autres espèces s'y ajoutent maintenant. La pêche à la baleine, bien qu'interdite à des fins commerciales, se pratique tout de même sous le couvert de la recherche scientifique : le Japon fait régulièrement l'objet de plaintes et ses bateaux sont la cible d'organismes tels que Greenpeace [70]. La flotte japonaise aurait tué environ 7000 baleines au cours des deux dernières décennies (Besson, 2008). À ce bilan, il faut ajouter la pêche illégale et la mort de milliers d'oiseaux de mer qui, attirés par les appâts, ont avalé des hameçons.

### [70] Une baleinière japonaise

Le Japon présente la pêche à la baleine qu'il pratique comme une activité de recherche scientifique.

#### Photo et article

Alexandre Shields. «Chasse à la baleine : l'Australie en Cour dès mercredi contre le Japon», 26 juin 2013, *Le Devoir*, [En ligne], <http://www.ledevoir.com/environnement/actualites-sur-l-environnement/381575/chasse-a-la-baleine-l-australie-en-cour-des-mercredi-contre-le-japon> (Page consultée le 30 juin 2013)

En dehors des poissons et du krill, directement comestibles ou transformables par l'industrie, un nouveau marché s'est développé : la recherche de matériel génétique de grande valeur commerciale. Cette recherche soulève d'importantes questions éthiques, dont l'appropriation par quelques États d'un patrimoine commun mondial, et n'est pas sans risques pour l'environnement. L'un des plus importants projets a pour cadre le lac Vostok, situé à plus de 3000 mètres sous la glace. L'un des plus profonds de la Terre, aussi grand que le lac Ontario, il a la particularité d'être probablement resté isolé de l'atmosphère depuis plus de 20 millions d'années (Hemmings et Roura, 2004). Il abrite des microorganismes capables de survivre dans des conditions extrêmes qui intéressent beaucoup les scientifiques... et les industriels. Chaque pays ayant des bases scientifiques en Antarctique voulait être le premier à réussir un forage. C'est la Russie qui a finalement gagné la course. Mais tout forage risque de contaminer le lac.

La plus grande richesse de l'Antarctique est peut-être son écosystème unique, mémoire des anciens climats et des anciennes formes de vie, seul espace encore inviolé de la planète, dont les ressources vivantes serviront éventuellement de bouée de sauvetage à l'humanité. En retardant la mise en exploitation des ressources, le traité de l'Antarctique favorise la préservation de ce patrimoine biologique, ainsi que la recherche de sources d'énergie moins dommageables pour l'environnement. On peut toutefois regretter qu'il n'empêche pas le développement rapide du tourisme, dont les déchets (indestructibles dans ce milieu où rien ne se décompose) viennent s'ajouter à ceux, sévèrement contrôlés, des bases scientifiques. La péninsule Antarctique, en particulier, est devenue une destination touristique très prisée, où des bateaux de grande capacité et des formules du type *fly-sail* (combiné avion-bateau) débarquent chaque année des milliers de passagers.

Outre les difficultés déjà notées dans la préservation des ressources du continent, le réchauffement climatique, plus rapide qu'en tout autre point du globe, risque d'entraîner des conséquences très lourdes. En fondant, les glaces libèrent de grandes quantités d'eau douce. Cette dernière est non seulement perdue pour la consommation, mais modifie en profondeur la dynamique des courants marins qui régit l'ensemble du climat mondial et conditionne, entre autres, le potentiel de pêche. Saurons-nous gérer plus sagement les ressources de l'Antarctique que celles des autres continents ?

## Pour aller plus loin

### Lectures

- Deneault, Alain, Delphine Abadie et William Sacher. *Noir Canada. Pillage, criminalité et corruption en Afrique*, Écosociété, Montréal, 2008, 352 p.

Les pratiques contestables des sociétés minières dans les pays en développement : un livre qui a valu aux auteurs et à l'éditeur un procès retentissant.

- Petrella, Riccardo. *Le manifeste de l'eau pour le XXI<sup>e</sup> siècle : pour un pacte social de l'eau*, Montréal, Fidès, 2008, 94 p. (coll. «Les grandes conférences»).

Riccardo Petrella est l'auteur incontournable sur la question de l'eau et le défenseur convaincu de l'accès pour tous à cette ressource vitale.

- Rebeyrol, Yvonne. *La Terre toujours recommencée*, Paris, La Découverte/Le Monde, 1990, 421 p. (Coll. «Histoire des Sciences»).

L'histoire de notre planète, sa structure interne, la formation des reliefs, l'évolution des technologies et des connaissances scientifiques.

- Sur, Serge (dir.) *et al.* «La bataille de l'énergie», La Documentation française, *Questions internationales* n° 24, mars-avril 2007, 128 p.

L'accès à une énergie propre, abondante et à un coût abordable est la clé du développement et du bien-être, mais aussi de la puissance d'un État.

### À voir

- Brownlee, Peter. *On a vidé l'océan – Voyage dans l'au-dessous*, France 5, 50 min, coul. (le 27 février 2011).

2<sup>e</sup> épisode d'une série de trois documentaires : l'exploration et la cartographie des fonds océaniques dans la baie de Monterey (États-Unis).

- Gravel, Alain. «Du sang dans nos cellulaires», *Enquête*, Société Radio-Canada, 60 min, coul. (jeudi 17 mars 2011). Cette émission met en évidence le lien entre les minerais précieux du Congo et la guerre.

- Roberts, Scott et Jeremy Wagener. *Gas Hole (Pétrole, le prix de la dépendance)*, USA, 2010, 101 min, coul., vidéo. Une enquête sur les conséquences de la pénurie annoncée, avec des séquences d'archives. En anglais, sous-titré en français. Extraits disponibles sur plusieurs sites web.

- Rose, Yanick. *L'odyssée géologique : les Appalaches*, Découverte, Radio-Canada, 60 min, coul. (le 12 août 2007) et DVD.

La formation géologique et les caractéristiques actuelles (relief, ressources) d'une région présentée comme la colonne vertébrale du continent.

### Sur le Web

- Ifremer. Site web de l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER) : <http://wwz.ifremer.fr/institut>

Ce site propose notamment des schémas animés du mécanisme de subduction, des clips sur les sources hydrothermales, des exemples de matériel d'exploration.

- Rousseau, Francis. *Les énergies renouvelables de la mer* : <http://energiesdelamer.blogspot.com/>

Blog consacré à une veille scientifique internationale : actualité au jour le jour, archives, possibilité de s'abonner à une infolettre quotidienne.

- SVT-Édu.net : <http://jourdan.eric.pagesperso-orange.fr/log/tectoniq.htm> pour télécharger gratuitement quantité de logiciels et documents d'animation sur les plaques tectoniques.

- TV5Monde. «Le Groenland, un Eldorado de l'Arctique pour les compagnies pétrolières», 18 février 2011 : <http://www.tv5.org/cms/chaine-francophone/info/p-1911-Le-Groenland-un-Eldorado-de-l-Arctique-pour-les-compagnies-petrolieres.htm?&rub=20&xml=newsmldmd.a1a93435f42f9aac39c88050ce1da502.a1.xml>

La fonte des glaces rend accessibles d'immenses richesses dans les régions arctiques. Pour en savoir plus sur les perspectives d'exploitation.

- WWF. *Rapport Planète Vivante 2010*, à télécharger sur le site : [http://wwf.ca/fr/rapport\\_planete\\_vivante\\_2010.cfm](http://wwf.ca/fr/rapport_planete_vivante_2010.cfm)

Une analyse des impacts écologiques de la consommation, à un rythme accéléré, des différentes ressources de la planète.

## Bibliographie

AIE, citée dans «La demande mondiale d'énergie primaire», *La demande d'énergie*, IFP Énergies nouvelles, 2010, [En ligne], <http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/layout/set/print/espace-decouverte/les-cles-pour-comprendre/economie-de-l-energie/la-demande-d-energie> (Page consultée le 20 juin 2011)

Association générale des producteurs de maïs (AGPM). «Tout savoir sur le maïs», *Maïz'Europ'*, 2011, [En ligne], [http://www.agpm.com/pages/mais\\_plante.php](http://www.agpm.com/pages/mais_plante.php) (Page consultée le 12 novembre 2011)

Audette-Chapdelaine, Marianne. «Exploitation des icebergs pour l'eau potable? – Du remorquage à l'embouteillage?», *Regard critique*, Université Laval, 22 mars 2008, [En ligne], [http://www.regardcritique.ulaval.ca/?id=566&print=1&no\\_cache=1&L=](http://www.regardcritique.ulaval.ca/?id=566&print=1&no_cache=1&L=) (Page consultée le 18 juin 2011)

Besson, Sandra. «La croissance de Las Vegas dépend de réserves d'eau sur le déclin», *Actualitéenvironnement News*, 22 août 2007, [En ligne], <http://www.actualites-news-environnement.com/11366-las-vegas-eau.html> (Page consultée le 12 novembre 2011)

Besson, Sandra. «L'Australie envoie un bateau pour suivre la flotte japonaise de chasse à la baleine en Antarctique», *Actualitéenvironnement News*, 9 janvier 2008, [En ligne], <http://www.actualites-news-environnement.com/14098-Australie-flotte-japonaise-chasse-baleine.html> (Page consultée le 18 juin 2011)

Boinet, Alain. «L'eau insalubre tue», Idées, *Le Monde.fr*, 22 mars 2011, [En ligne], [http://www.lemonde.fr/idees/article/2011/03/22/l-eau-insalubre-tue\\_1496575\\_3232.html](http://www.lemonde.fr/idees/article/2011/03/22/l-eau-insalubre-tue_1496575_3232.html) (Page consultée le 12 novembre 2011)

Bourque, Pierre-André. «Les sources hydrothermales des fonds océaniques», *La vie dans les océans*, 3.2 Les océans, *Planète Terre*, Département de Géologie et de Génie géologique, Université Laval, Québec, 2 août 2010, [En ligne], <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/sources.hydro.html> (Page consultée le 12 novembre 2011)

Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED). «Blé», Produits agricoles, *Info Comm*, s.d., 21 octobre 2011, [En ligne], <http://unctad.org/infocomm/francais/ble/culture.htm> (Page consultée le 12 novembre 2011)

*Id.* «Riz», 21 octobre 2011, [En ligne], <http://unctad.org/infocomm/francais/riz/descript.htm> (Page consultée le 12 novembre 2011)

Daudelin, Jean. «Le Brésil comme puissance : portée et paradoxes», *Problèmes d'Amérique latine*, n° 78 (automne 2010), Paris, Choiseul, p. 29-46.

«Définition de océan», *Aquaportail.com*, s.d., [En ligne], <http://www.aquaportail.com/definition-5118-ocean.html> (Page consultée le 12 novembre 2011)

«Définition de hydrocarbure», Dictionnaire encyclopédique, *Actu-Environnement*, s.d., [En ligne], [http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/hydrocarbure.php4](http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/hydrocarbure.php4) (Page consultée le 12 novembre 2011)

George, Pierre. *Dictionnaire de la géographie*, 4<sup>e</sup> éd., Paris, PUF, 1990, p. 105.

Golden, Fred. *Les océans*, Amsterdam, Time-Life, 1992, 144 p. (coll. «L'aventure technologique»).

Grenier, Chantal et Nathalie Thibault. *Un monde en mouvement, Géographie – Carte du monde*, Laval, Études vivantes, 1995, 290 p.

Hemmings, Alan et Ricardo Roura. *La nouvelle découverte de l'Antarctique*, Transpol'Air, décembre 2004, [En ligne], [http://transpolair.free.fr/routes\\_polaires/antarctique/decouverte.htm](http://transpolair.free.fr/routes_polaires/antarctique/decouverte.htm) (Page consultée le 7 juin 2011)

«Le mirage de l'eau gratuite», *Agence Science-Presse (ASP)*, 31 août 2010, [En ligne], <http://www.sciencepresse.qc.ca/actualite/2010/08/31/mirage-leau-gratuite> (Page consultée le 29 juin 2011)

«Les dorsales», *À la découverte des grands fonds*, Ifremer, 2004, [En ligne], <http://www.ifremer.fr/exploration/enjeux/relief/dorsale.htm> (Page consultée le 12 novembre 2011)

«Les nodules polymétalliques», II.1 – Historique de la découverte des nodules polymétalliques, Ressources minérales, *Géosciences marines*, Ifremer, 8 septembre 2010, [En ligne], <http://www.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Nodules-polymetalliques/Les-nodules-polymetalliques> (Page consultée le 12 novembre 2011)

Organisation mondiale de la santé (OMS). *L'eau, l'assainissement, l'hygiène et la santé*, Programmes et projets, OMS, Nations Unies, novembre 2004, [En ligne], [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/facts2004/fr/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/fr/index.html) (Page consultée le 12 novembre 2011)

Ressources naturelles Canada, Secteur des sciences de la Terre, Commission géologique du Canada. «Les hydrates de gaz : carburant de l'avenir ?», 2 août 2008 [En ligne], [http://sst-ess.nrcan.nrcan.gc.ca/2002\\_2006/ghff/index\\_f.php](http://sst-ess.nrcan.nrcan.gc.ca/2002_2006/ghff/index_f.php) (Page consultée le 15 mars 2011)

Ressources naturelles Canada, Secteur des sciences de la Terre, Séismes Canada. «La menace d'un séisme catastrophique dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique», Indices Géophysiques, 9 juillet 2008, [En ligne], <http://earthquakescanada.nrcan.gc.ca/zones/cascadia/menace/geophys-fra.php> (Page consultée le 12 juin 2011)

Ressources naturelles Canada, Séismes Canada, secteur des sciences de la Terre. «La menace d'un séisme catastrophique dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique», Indices Géophysiques, 9 juillet 2008, [En ligne], <http://earthquakescanada.nrcan.gc.ca/zones/cascadia/menace/geophys-fra.php> (Page consultée le 12 juin 2011)

Rodgers, Caroline. «Le Canada, une puissance énergétique», *La Presse.ca*, 29 septembre 2010, [En ligne], <http://lapresseaffaires.cyberpresse.ca/portfolio/congres-mondial-de-lenergie-montreal-2010/201009/29/01-4327862-le-canada-une-puissance-energetique.php> (Page consultée le 12 novembre 2011)

Servan-Schreiber, Jean-Jacques. *Le défi mondial*, Paris, Fayard, 1981, 477 p.

«Tonne équivalent-pétrole. Définition», *Définitions et méthodes*, Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE), s.d., [En ligne], <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/tonne-equivalent-petrole.htm> (Page consultée le 12 novembre 2011)

U.S. Geological Survey et Agence de l'eau Artois-Picardie. «Le cycle de l'eau», *USGS*, 8 février 2011, [En ligne], <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclefrench.html#oceans> (Page consultée le 12 novembre 2011)

Wegener, Alfred. *L'origine des continents et des océans*, 1915 (1<sup>ère</sup> éd.) et 1922 (traductions). Cité dans *L'homme et sa planète*, Paris, Pressinter, 1980, p. 104.

ANNEXE I – LES PRINCIPALES CÉRÉALES MONDIALES

	RIZ	BLÉ	MAÏS
Principales caractéristiques	Nourrit la moitié de l'humanité.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nourrit les humains et le bétail.</li> <li>- Plante la plus cultivée dans le monde, et la plus anciennement cultivée.</li> <li>- Il en existe différentes variétés, pouvant convenir à des climats diversifiés (ses qualités sont différentes selon les conditions de climat).</li> </ul>	Base de l'agriculture de subsistance (humains et bétail).
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rendement élevé.</li> <li>- Croissance rapide.</li> <li>- Plusieurs récoltes par année dans certains pays.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contient des protéines et des vitamines. Bonne valeur nutritive.</li> <li>- S'est adapté, avec le temps, à beaucoup de milieux et de rythmes saisonniers.</li> <li>- Se prête bien à la mécanisation.</li> <li>- Croissance rapide.</li> </ul>	
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exige beaucoup de travail (nombreuses opérations).</li> <li>- Mécanisation difficile.</li> <li>- Faible teneur en protéines.</li> </ul>	Sensible à la sécheresse, aux orages, aux maladies et aux parasites. Le marché est donc très fluctuant.	
Conditions de culture	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessite beaucoup d'eau (1270 mm/an).</li> <li>- Température de 20 à 26°C.</li> <li>- Sol alluvial mais imperméable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessite 380 à 760 mm d'eau durant la croissance, à moins d'aménagements spéciaux.</li> <li>- Température d'au moins 10°C.</li> <li>- Terre noire, en principe, contenant des sels minéraux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Climat chaud et humide : 21 à 25°C l'été et plus de 14°C la nuit durant 140 à 210 jours.</li> <li>- 640 à 700 mm de pluie.</li> <li>- Sols bien drainés, riches en nitrates, phosphore et potasse.</li> </ul>
Zones de production	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asie du Sud-Est.</li> <li>- Plaines alluviales, deltas, zones irriguées ou inondées.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zones tempérées.</li> <li>- Zones semi-tropicales à saison sèche : Amérique du Nord et Argentine, Russie et Europe de l'Ouest, Australie.</li> <li>- Reliefs de plaines.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amérique du Nord et du Sud (Argentine).</li> <li>- Russie.</li> </ul>
Facteurs d'évolution	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Engrais.</li> <li>- Hybridation, qui accroît les rendements de différentes variétés.</li> <li>- Recherche génétique.</li> <li>- Mécanisation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Culture intensive, forts rendements.</li> <li>- Nouvelles variétés.</li> <li>- Mécanisation.</li> <li>- Lutte contre les maladies et parasites.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variétés hybrides à fort rendement.</li> <li>- Recherches pour augmenter la valeur nutritive.</li> </ul>

ANNEXE II – LES RESSOURCES DES MERS

TYPE DE RESSOURCE		LOCALISATION	INTÉRÊT / DOMAINE D'UTILISATION	OBSTACLES À L'EXPLOITATION
SELS		En suspension dans l'eau	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Haute teneur en minéral</li> <li>- Plusieurs métaux rares / précieux</li> </ul>	Trop dilués pour être exploités, sauf le chlorure de sodium (sel de cuisine)
MINÉRAUX DÉPOSÉS PAR LES FLEUVES		Plateau continental	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matériaux de construction, métaux, diamants, phosphore</li> <li>- Compensent l'épuisement des ressources sur les continents</li> </ul>	
PÉTROLE		Plateau continental (en bordure des mers chaudes)	Réserves abondantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Milieu hostile (tempêtes, froid)</li> <li>Profondeur</li> <li>Coûts élevés</li> <li>Technologie requise</li> <li>Transport nécessaire</li> <li>Risques environnementaux</li> </ul>
CONCRÉTIONS MÉTALLIQUES		Dorsales océaniques Plancher océaniques (eaux internationales)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Haute teneur en minéral</li> <li>- Nodules polymétalliques du plancher océanique :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Immenses étendues</li> <li>• Métaux rares et vitaux</li> <li>• Indépendance des approvisionnements</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Loin des côtes</li> <li>- Grandes profondeurs (froid, obscurité, pression)</li> <li>- Dispersion (ramassage difficile)</li> <li>- Coûts et seuil de rentabilité élevés</li> <li>- Forte compétition internationale</li> <li>- Problème légal et moral de la propriété</li> </ul>
ÉNERGIE	des marées	Certains estuaires	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puissante</li> <li>Constante</li> <li>Inépuisable</li> <li>Technologie assez simple</li> <li>Propre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peu de sites conviennent</li> <li>- Concurrence avec les autres activités (pêche, navigation)</li> <li>- Risques écologiques</li> </ul>
	thermique		Rentabiliserait les différences de température entre le fond et la surface dans les eaux tropicales	
	cinétique	Vagues et courants marins	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mêmes avantages que l'énergie des marées</li> <li>- Puissance cumulant l'énergie du mouvement et celle des échanges thermiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dispersion en surface</li> <li>- Problèmes techniques non résolus, comme la corrosion des installations par l'eau de mer</li> <li>- Coûts élevés</li> <li>- Transport de l'énergie en concurrence avec la pêche et les corridors de navigation</li> <li>- Perturbations écologiques possibles</li> </ul>