l'Encyclopédie du Développement Durable
ÉDITIONS DES RÉCOLLETS
N°45 - Mai 2007

9.3 Faits et chiffres

Les ressources minérales : ressources énergétiques et autres

Résumé

Ce dossier présente pour l'ensemble des ressources minérales dans le monde les faits et chiffres essentiels : ressources et quantités extraites, gisements principaux, prévisions (notamment d'épuisement). Il distingue en particulier les ressources minérales énergétiques et accompagne les articles N°43 sur Ressources minérales et développement durable et n°44 sur Pétrole et ressources énergétiques fossiles de l'Encyclopédie du développement durable.

Mots clés : *activités minières et extractives, gestion des ressources naturelles, gaz à effet de serre.*

L'auteur

***Jacques Varet** est directeur de la prospective au BRGM, président du comité d'expertise de la Mission Interministérielle de l'effet de serre (MIES), vice-président de l'association 4D dont il préside le comité scientifique.*

Les sources : *Les sources principales sont : le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), la Direction générale de l'énergie et des matières premières (DGEMP), l'IFP, l'Institut fédéral de la géoscience et des ressources naturelles d'Hanovre (BGR), l'Agence internationale de l'énergie (AIE), l'Association pour l'étude du pic du pétrole(ASPO) et la Fédération des minerais, minéraux industriels et métaux non ferreux (FEDEM).*

1. Ressources, réserves, "pic" de production, épuisement et émissions

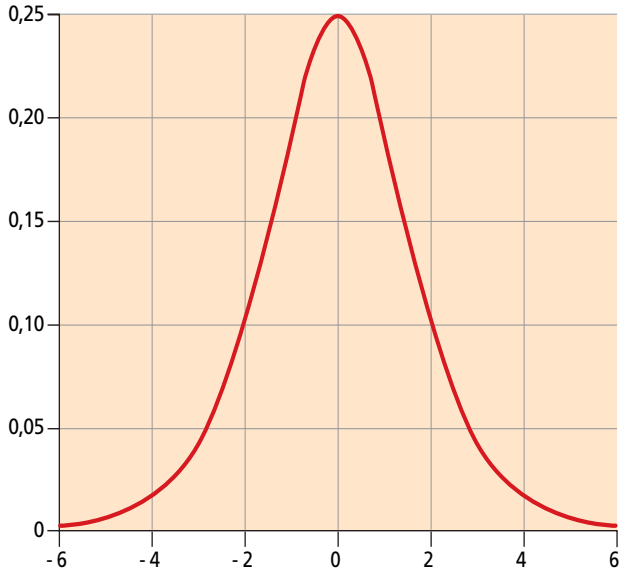
Depuis l'âge de la pierre, puis du fer et du bronze, l'humanité a fait appel aux ressources minérales pour assurer sa survie et son développement. C'est la maîtrise des ressources énergétiques fossiles (charbon puis hydrocarbures) qui a permis le décollage industriel, après utilisation intensive de la biomasse forestière. Dans les années 70, on en est venu à questionner la "durabilité" d'une croissance économique directement dépendante d'une extraction massive de ressources minières par définition circonscrites. En fait, c'est le géologue américain M.K. Hubbert qui, dans les années 50 a montré que face à une croissance exponentielle de l'extraction, *tout gisement fini passerait par un cycle de production selon une courbe "en cloche", avec un "pic" correspondant à l'extraction de la moitié des ressources minérales*. Sa prédiction de la date du pic pétrolier américain s'est vérifiée.

Selon la formule suivante, où x(t) désigne la quantité de matière première produite en fonction du temps :

$$x(t) = \frac{e^{-t}}{(1+e^{-t})^2} = \frac{1}{2+2\cosh t}$$

En fait, la situation diffère grandement selon les substances. Les ressources minérales peuvent être classées en cinq catégories :

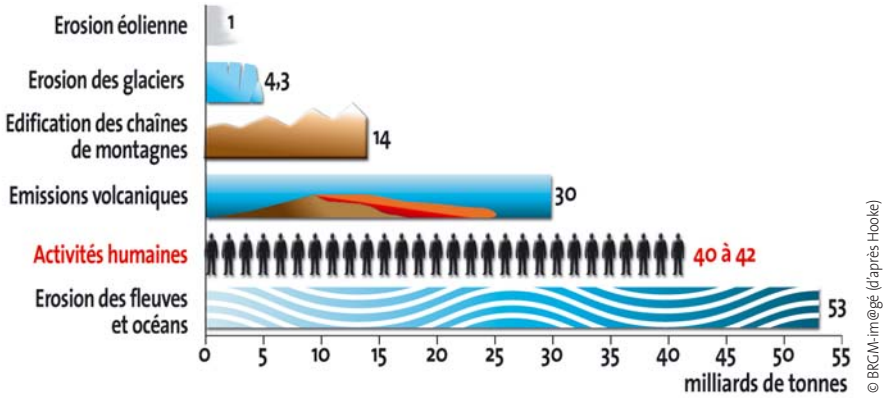
Fig.1 : courbe d'épuisement des ressources minérales face à une extraction en croissance exponentielle



- les ressources énergétiques fossiles (pétrole, gaz et charbon)
- les ressources métalliques (y compris l'Uranium)
- les minéraux industriels
- les matériaux de constructions
- les pierres précieuses

Les premières, qui résultent d'un mécanisme d'accumulation biologique, constituent un stock limité. Les secondes donnent plus de flexibilité puisque les teneurs et les tailles des gisements varient considérablement, et que l'on peut toujours trouver – à prix croissants – de nouveaux gisements. Les minéraux industriels et les matériaux de constructions s'adressent à des roches plus répandues dans l'écorce terrestre, et la limitation tient là plus à des considérations environnementales qu'à des considérations géologiques. Les pierres précieuses constituent des cas particuliers qui ne seront pas développés ici même si leur incidence sociale et politique peut être considérable ("guerres du diamant" en Afrique).

Figure 2 : transport annuel de matériaux. Le volume de sols et roches déplacé par l'Homme atteint presque aujourd'hui celui de l'érosion naturelle.



L'évaluation des *ressources* est le fruit du travail du géologue. Plus précisément, on distingue les *ressources*, qui correspondent à une matière première d'intérêt économique identifiée dans un gisement, en teneur et en quantité telles qu'elle présente des perspectives raisonnables d'extraction rentable. Les *réserves* correspondent à la part de ces ressources dont la viabilité économique est assurée. On parle de *réserves prouvées* lorsque la partie économiquement exploitable est mesurée.
L'extraction de toute ressource du sous-sol se traduit en sous-sol par une cavité (ou une rétraction), en surface par une modification de l'usage des sols (provisoire ou définitive) et dans l'environnement par des émissions de différentes natures, en proportions variables selon la nature du produit :

- déchets solides (gangue...), liquides (exhaure...) ou gazeux sur le site d'extraction ;
- produits de traitement ou de combustion sur le site de raffinage ;
- déchets et émissions lors de l'usage ou après usage.

En volumes déplacés, les ressources minérales extraites aujourd'hui par l'humanité avoisinent l'effet de l'érosion naturelle *(voir Fig. 2)*. Les extractions de sables et graviers dépassent la dizaine de milliards de tonnes/an (*Fig 3.1*). Viennent ensuite les roches solides dépassant 3 milliards de t/an, puis les combustibles fossiles : charbon, pétrole, gaz et lignite. Loin devant les ressources métalliques (plus de 500 millions de tonnes pour le fer, le quart pour la bauxite...).

En valeur, (*voir Fig 3.2*) les proportions ne sont pas les mêmes : ce sont les ressources minérales fossiles qui arrivent en tête, suivies des sables et graviers, avec les substances précieuses (Or, 5e position, diamant, 10e position) et métalliques (fer et cuivre en 7e et 8e position).

2. Les ressources énergétiques fossiles

Le développement économique depuis la seconde moitié du XXe siècle correspond à une période caractérisée par un recours intensif et régulièrement croissant aux ressources énergétiques fossiles : pétrole, gaz et charbon notamment. La croissance des consommations s'accompagne d'une

Fig.3.1 : Production mondiale de matières premières minérales : minéraux industriels, carburants et métaux en masse (milliers de tonnes/an, 1996)

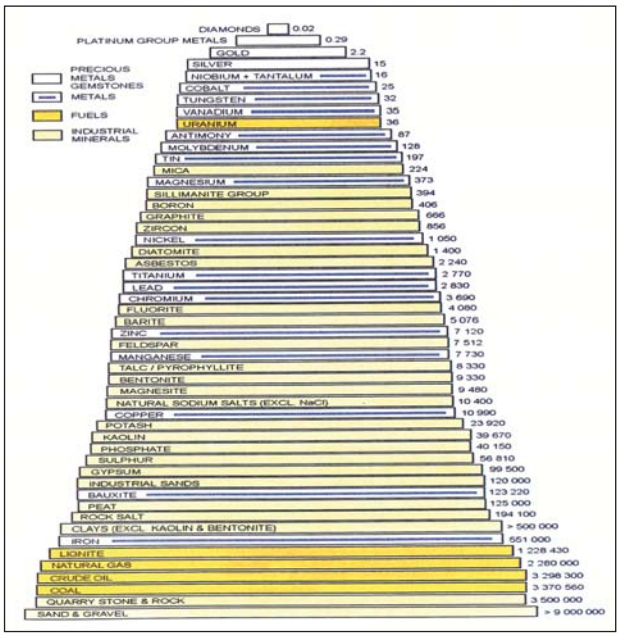


Fig.3.2 : Production mondiale de matières premières, en valeur (millions de DM, 1996)

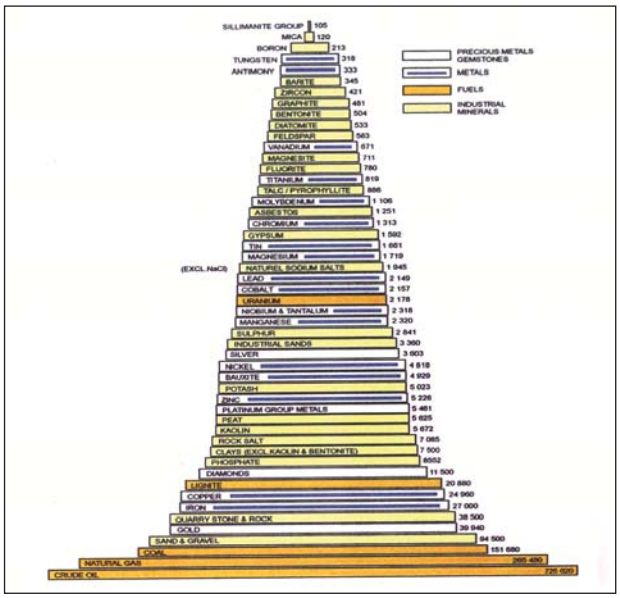
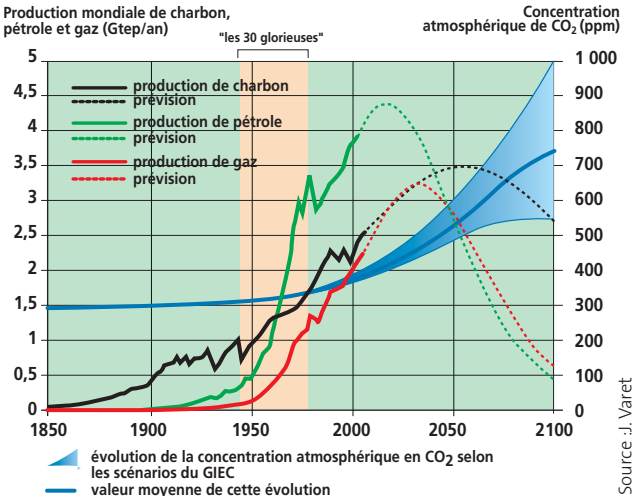
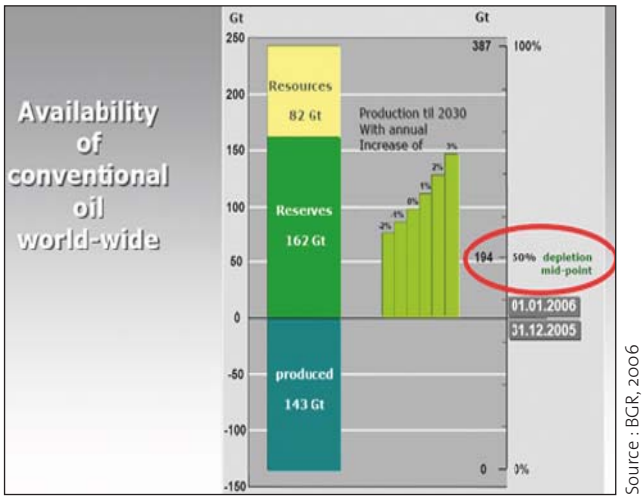


Fig. 4 : courbes d'épuisement des ressources fossiles et d'émissions de gaz à effet de serre, selon les divers scénarii du GIEC



L'ensemble en bleu correspond à l'enveloppe des différents scénarii.

Fig.5 : le pétrole sur la planète. Ce qui a été consommé et ce qui reste disponible : réserves et ressources additionnelles



Compte tenu de la croissance de la production, le pic se situerait en 2030.

Fig.6 : production mondiale d'énergie primaire : évolution depuis 1973

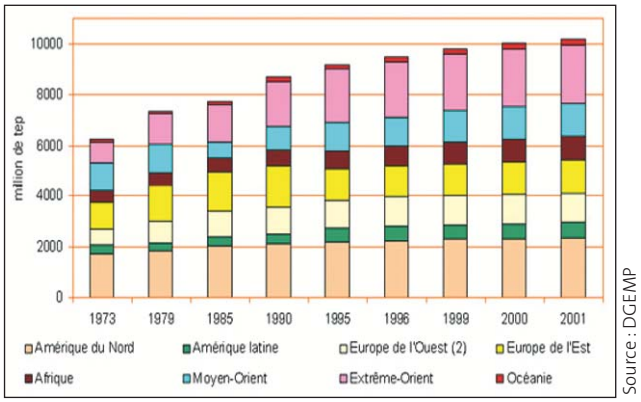


Fig. 7 : les dix premiers pays producteurs d'énergie : pétrole, gaz, charbon et uranium

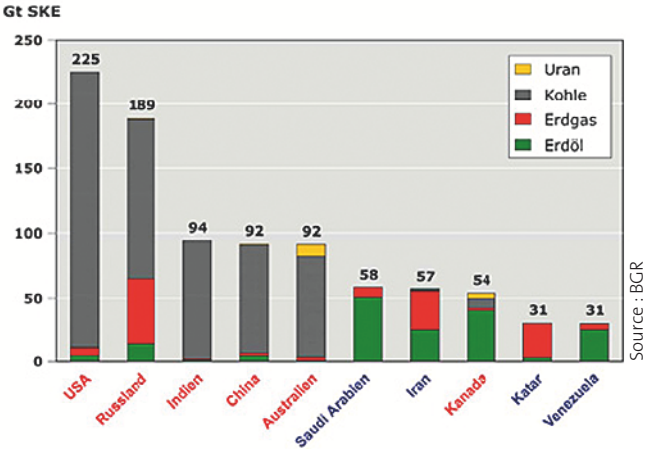
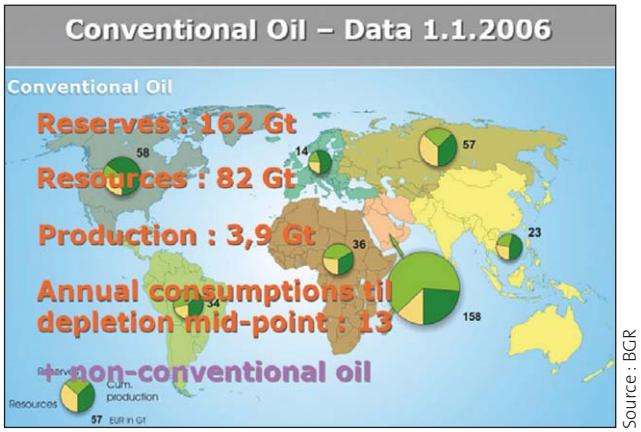
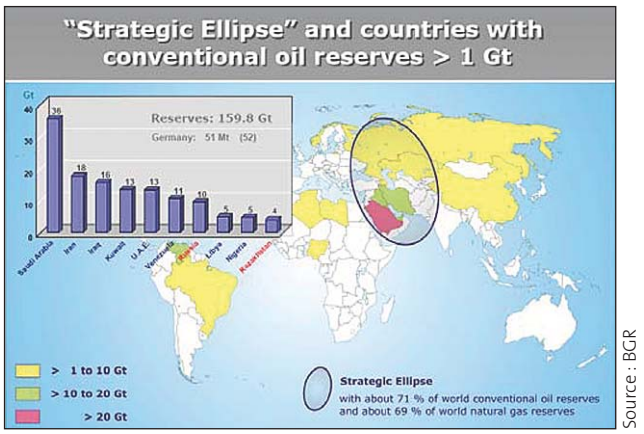


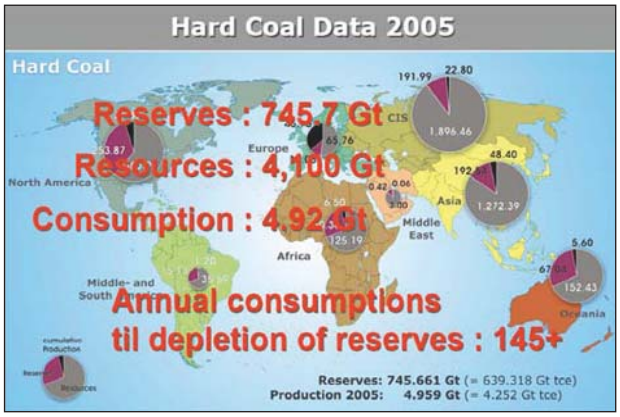
Fig.8 : ressources et réserves pétrolières mondiales : près du quart des réserves se situent dans une ellipse incluant le Moyen-Orient et l'Asie centrale



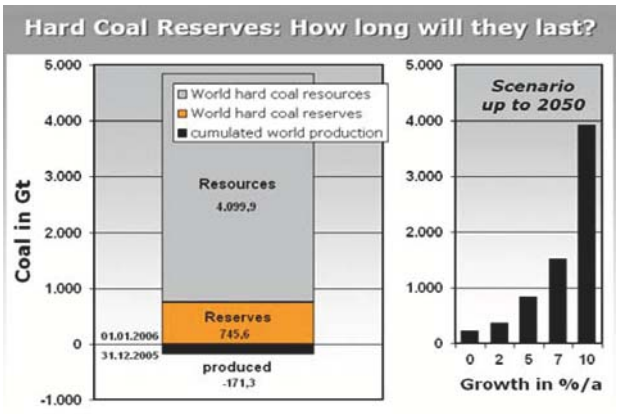


croissance des émissions de gaz de combustion, CO_2 notamment, avec les conséquences que l'on sait en matière d'effet de serre (*cf. article de Michel Mousel "L'effet de serre, c'est la vie"*). On constate que la croissance de la production par source (*voir faits et chiffres des consommations d'énergie, p.3*) est essentiellement le fait du pétrole (35% en 2004), du charbon (25% en 2004) et du gaz (21%), c'est-à-dire qu'en proportions, l'énergie reste produite à 80% par des sources carbonées fossiles (*cf. article de Bernard Laponche sur les consommations d'énergie dans le monde*).

Fig. 9 : répartition mondiale des réserves et ressources charbonnière, et leur durée de vie



Source : BGR



Source : BGR

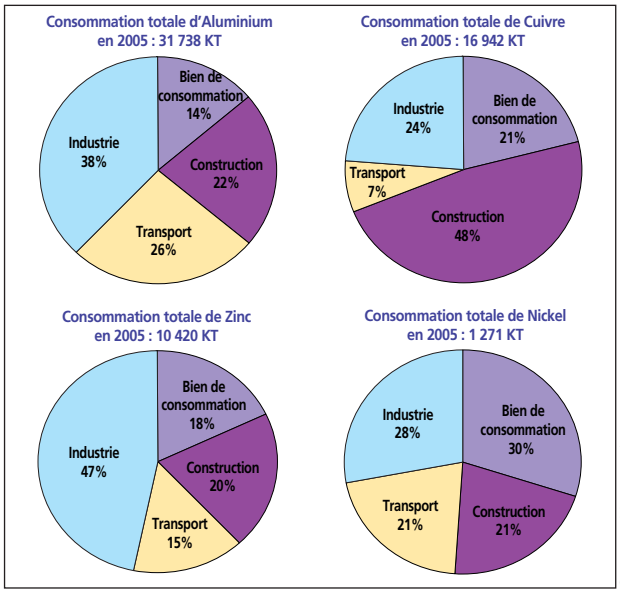
Ainsi, si le charbon est relativement bien réparti, il n'en va pas de même pour le pétrole et le gaz, dont près des trois quart des ressources se situent dans un périmètre très circonscrit correspondant au Moyen-Orient et à l'Asie centrale.

Non seulement le charbon est géographiquement mieux réparti, mais encore il est beaucoup plus abondant. Si l'on ne tient compte que des réserves prouvées, la production est assurée jusqu'en 2050 pour une croissance annuelle de 5% ; même avec une hypothèse de croissance de 10% par an, les ressources identifiées indiquent qu'une production pourrait être maintenue.

3. Les autres ressources minérales, dont les ressources métalliques

Parmi les ressources minérales métalliques, l'uranium est un sujet particulier puisqu'il s'agit d'une substance énergétique. Les ressources prouvées atteignent 4,7MT, les principaux producteurs étant l'Australie, le Canada et le Kazakhstan, suivis du Niger, de l'Afrique du sud, de la Namibie et du Brésil. Les réserves permettent d'assurer 70 ans de consommation avec les technologies actuelles.

Fig.11 : répartition de la consommation mondiale de quelques métaux de base (cuivre, aluminium, zinc, nickel) par secteur de l'économie (construction, transports, industrie, biens de consommation)



Source : Macquarie

Fig. 10 : réserves mondiales prouvées d'uranium (01/01/2006)

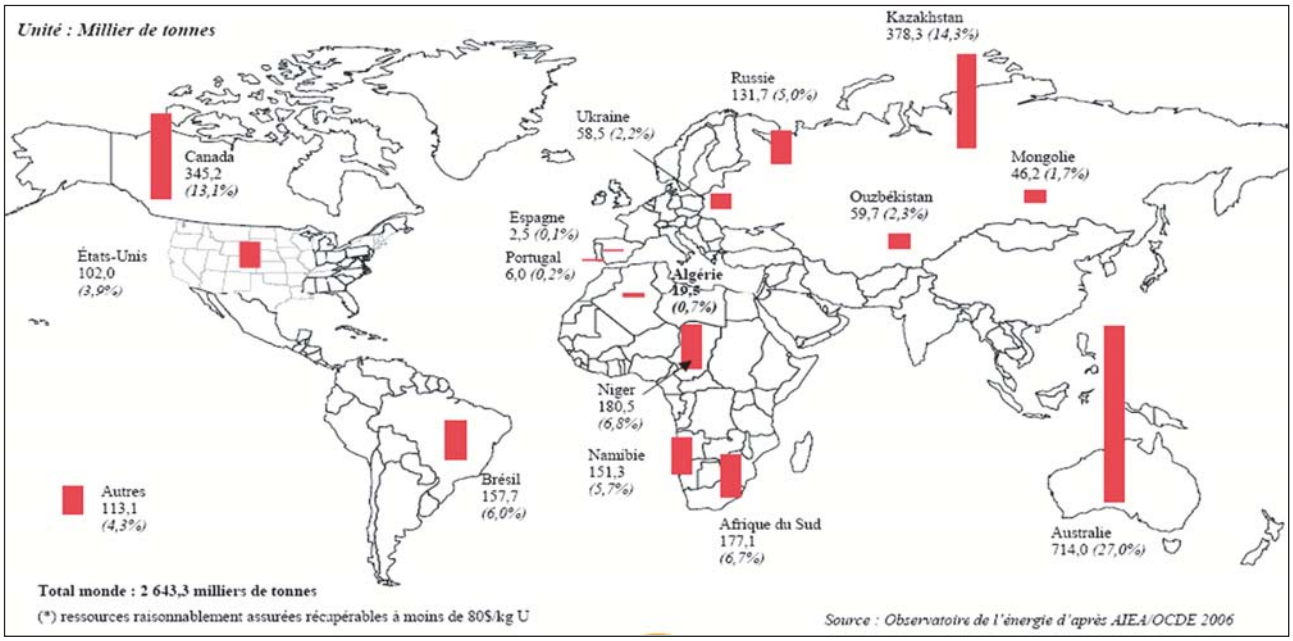


Fig. 12 : la croissance annuelle de la consommation de matières premières suit celle de la croissance industrielle

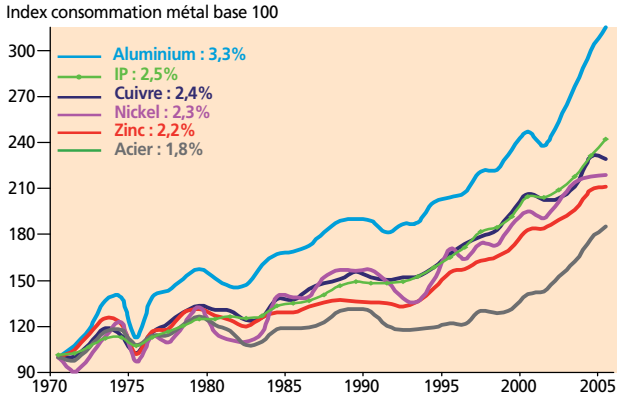


Fig. 13 : la Chine a été le principal moteur de la croissance ces dix dernières années

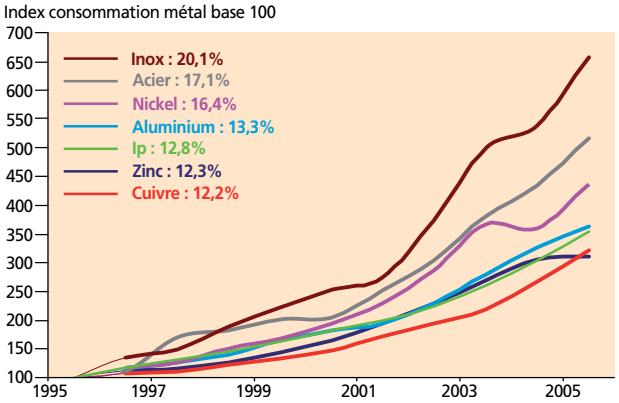


Fig. 14 : la part de la chine s'est accrue régulièrement ces dernières années

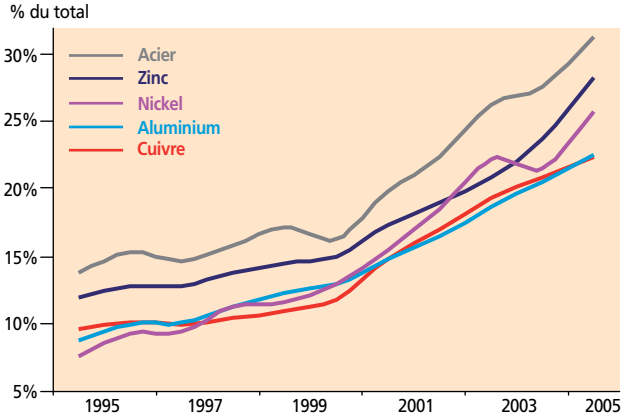
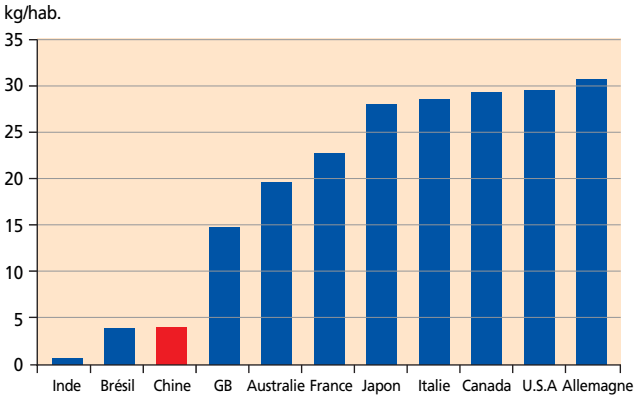


Fig. 15 : prospective 2050 : La consommation d'aluminium par habitant en Chine en 2002 est encore bien en retrait par rapport aux pays développés



L'évolution à long terme de la consommation des métaux de base dans le monde entraîne une tension sur les matières premières. En effet, la consommation des métaux est bien répartie dans l'ensemble des secteurs de l'économie (*habitat, transport, industrie, biens de consommation, voir Fig.11*). Les moteurs traditionnels de la croissance restent la production mondiale de la demande en métaux.
S'y ajoute l'innovation technologique, qui tire la demande dans les pays développés. L'exemple du nickel montre une croissance de la production pour répondre à deux marchés : l'aéronautique et l'énergie (batteries rechargeables).

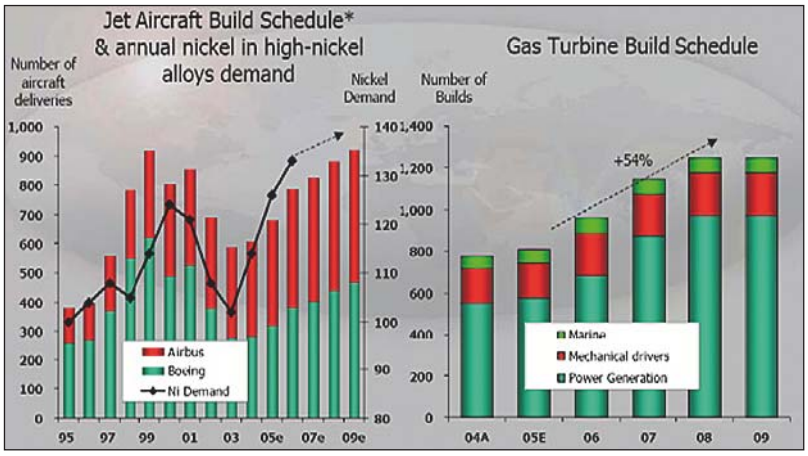
En réponse à cette demande, l'optimisation du champ des ressources porte sur les gisements (reprise de l'exploration et du développement minier), les procédés de traitement (minéralurgie) et l'innovation dans les filières. Alors que les

Fig. 16 et 17 : exemples de croissance de la taille des équipements miniers

Krupp : Ultimate Earth Mover

360t, demain 400t

Fig. 18 : exemple du nickel : aéronautique et énergie, deux marchés en croissance ces prochaines années



Croissance attendue de 6 à 8 % sur la fin de la décennie.

meilleurs gisements ont été découverts et épuisés, les voies qui restent ouvertes sont :

- de s'attaquer à des gisements de plus en plus difficiles (Nord Canada, profondeur croissante, off shore...), avec une baisse de teneur d'exploitation,
- de développer l'automatisation des équipements,
- de développer de nouvelles technologies de traitement (ex. : hydrométallurgie),
- d'accepter une augmentation des coûts énergétiques.

4. Les cours des matières premières minérales

Les cours des matières premières minérales ont connu ces dernières années des fluctuations importantes. Comme le résume la Fig. 19, les guerres du Moyen-Orient ont joué un rôle essentiel dans les "crises" pétrolières. Il reste néanmoins que la croissance de la demande mondiale, face à des ressources limitées, entraîne des tensions très vives sur les marchés. C'est ce que montre le parallélisme des courbes de croissance des prix des matières premières en général avec les prix des énergies fossiles. Il s'observe également dans la période récente comme le montre la Fig.20 pour les premières années du troisième millénaire.

Jacques Varet

Fig. 19 : variation de cours du pétrole brut en dollar par baril entre 1947 et 2005

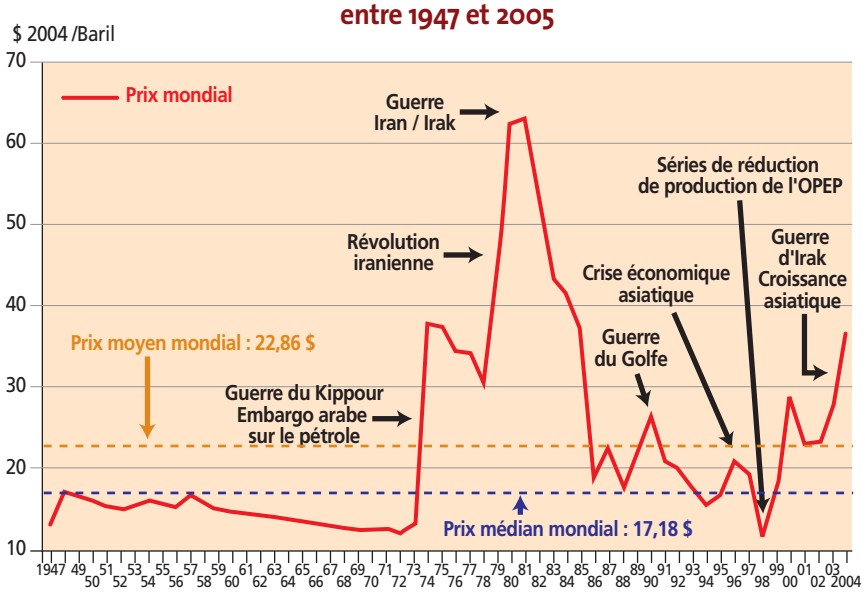
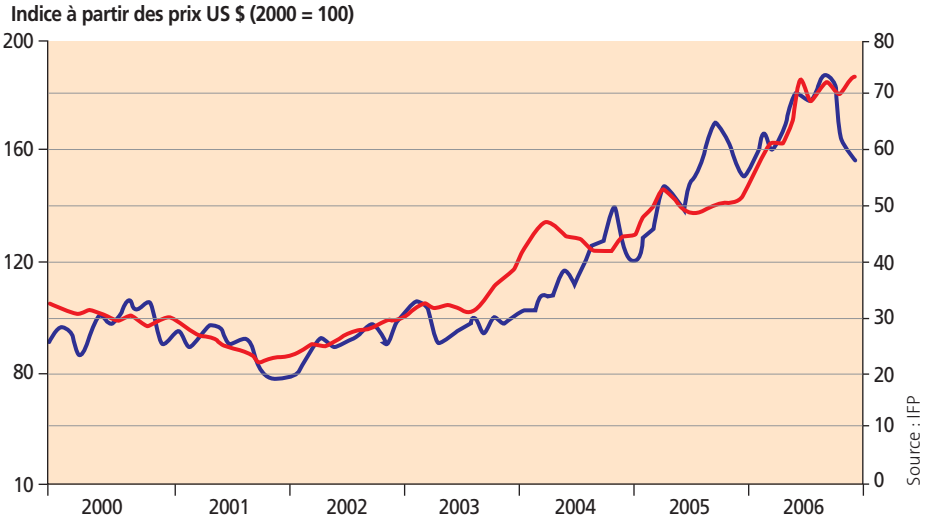


Fig. 20 : croissance des prix du pétrole et des autres matières premières indice agrégé du HWWA (Hamburg Institute of International Economics) : grain, matériaux, métaux



Ce document est strictement réservé aux souscripteurs de l'encyclopédie du développement durable.
Toute reproduction ou citation devra mentionner 4D - l'encyclopédie du développement durable.

Les éditions des Récollets
c/o association 4D - 150, rue du Faubourg Saint-Martin - 75010 Paris
Tél. : 01 44 64 74 94 - dd.recollets@association4d.org
Directeur de la publication : Jean-Pierre Piéchaud