

Les ressources naturelles épuisables
Pierre-Noël Giraud
18/03/11

A paraître dans : Alternatives Internationales

Le travail et la « terre » sont les sources de toute richesse, comme l'affirmèrent dès l'origine de la pensée économique les grands auteurs classiques (Smith, Ricardo, Marx) en distinguant trois facteurs de production : le travail, la terre et le capital (celui-ci n'étant rien d'autre que du travail « cristallisé »).

Dans le vocabulaire de l'économie contemporaine, on parle de « capital naturel » pour désigner ce facteur indispensable qui contribue, en association avec le capital humain, social et technique¹ à la production de l'ensemble des richesses. Au sein du capital naturel, il faut distinguer les ressources renouvelables des ressources épuisables.

Les ressources épuisables sont extraites, pour l'essentiel, du sous-sol : minerais solides, pétrole et gaz, nappes d'eau fossile. A l'échelle des temps géologiques, elles sont certes renouvelables. Mais, pour notre génération et pour les générations à venir, elles apparaissent comme un stock fini, que l'exploitation que nous en faisons épuise.

Le capital naturel épuisable présente quatre caractéristiques fondamentales que nous allons préciser :

- La notion de « réserve », qui mesure l'importance du stock à notre disposition à un moment donné, **est une notion économique**, et non pas physique.
- Une matière première extraite du sous-sol remplit dans le processus productif qui conduit à la satisfaction des besoins finaux une ou plusieurs fonctions, qu'elle n'est généralement pas la seule à pouvoir remplir. Autrement dit, elle est généralement **substituable**.
- Un certain nombre des matières utiles qu'on en extrait des ressources épuisables sont **recyclables** et recyclées.
- Les réserves peuvent être inégalement géographiquement réparties, ce qui peut donner à certains Etats qui les contrôlent un pouvoir de marché.

La notion de réserves prouvées

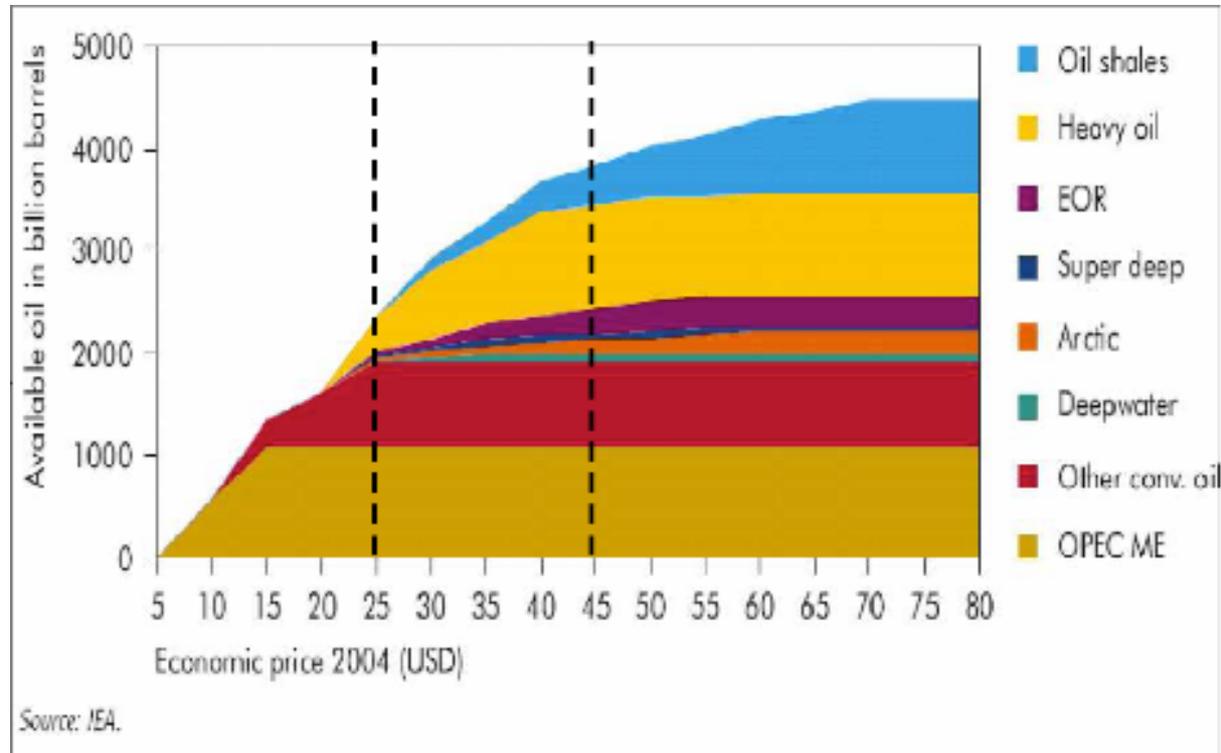
On définit d'abord les réserves prouvées à un moment donné.

Il s'agit du stock :

1. découvert par une activité productive : la recherche de gisements par les firmes minières et pétrolières
2. exploitable à un coût inférieur à une limite donnée.

¹ Capital humain : les connaissances et savoir faire que possèdent les hommes. Capital social : leur capacité à agir ensemble. Capital technique, autrement appelé capital produit : les artefacts qui servent de moyens de production.

Les réserves prouvées d'une substance minérale ne sont donc pas quantifiées par un simple chiffre, mais par une **courbe** de réserves en fonction du coût d'extraction, comme l'illustre le graphique suivant pour le pétrole :



Les réserves prouvées augmentent sous l'effet de :
 L'activité d'exploration des firmes minières et pétrolières.
 Le progrès technique, qui abaisse les coûts d'exploration et d'extraction

Exemple d'augmentation des réserves par le progrès technique : les shale gaz

Des techniques issues de l'exploitation pétrolière : le forage horizontal et la fracturation hydraulique des puits forés ont permis d'exploiter le gaz naturel « piégé » dans les schistes bitumineux et le charbon, à des coût proche de l'exploitation des réserves conventionnelles de gaz. En quelques années, les découvertes de gaz non conventionnel aux Etats Unis ont prolongé de près de 20 ans la durée de vie des réserves (les années de consommation actuelle qu'elle représentent)

L'exploration coûte cher, elle doit donc être rentable pour les entreprises, qui sont pour la plupart des entreprises privées. Elle n'est rentable que si l'on découvre des réserves dans le coût d'extraction est inférieur à celui des réserves qu'on a déjà en portefeuille. Il s'ensuit que si une compagnie minière ou pétrolière a déjà découvert un volume de réserve qui représente une trentaine d'années de sa production, elle a en général peu intérêt à risquer de l'argent dans l'exploration pour en découvrir d'autres.

En conséquence, le volume des réserves « prouvées » de la plupart des ressources épuisables représente fréquemment autour d'une trentaine d'années de la production donc de la consommation annuelle mondiale. C'était vrai dans les années 1920 et dans les années 1970, deux périodes où l'on s'est fortement inquiété de l'épuisement des ressources, et cela reste vrai aujourd'hui, alors que dans bien des cas la consommation mondiale, donc le volume des réserves prouvées, a été multiplié par 10. Si le volume des réserves dépasse largement 30 ans de consommation annuelle, comme pour le charbon, le fer ou la bauxite, c'est que les compagnies ont eu de la chance et ont trouvé d'immenses réserves à bas coûts de production.

Les réserves ultimes

Une notion évidemment intéressante est celle de « réserves ultimes » exploitables à un coût d'extraction inférieur au coût de production d'un substitut abondant.

Mais pour les raisons qui ont été dites, dans le cas de la plupart des substances minérales, on ne connaît pas les réserves ultimes, car aucune compagnie n'a trouvé intérêt à ratisser systématiquement la planète pour découvrir tous les gisements existants à un coût d'extraction inférieur à une limite donnée.

On n'a une idée des réserves ultimes que pour le pétrole, mais c'est la seule substance qui soit dans ce cas, car les compagnies pétrolières ont déjà foré la plupart des bassins sédimentaires où se trouve le pétrole. Comme indiqué ci dessus dans le Figure 1, elles sont de 2 mille milliards de baril pour le pétrole dit conventionnel à moins de 25 \$/bl, et de 4 mille milliards à moins de 45 \$/bl, ce qui inclut une partie du pétrole dit « non conventionnel », c'est à dire les pétroles très lourds ou très profonds, ainsi que les sables et les schistes bitumineux ? cela correspond respectivement à Mais dans toutes les autres substances minérales, et en particulier pour les métaux, on n'en a aucune idée.

En revanche on sait que l'augmentation du coût limite peut augmenter considérablement les réserves

Exemples de l'aluminium : la sensibilité du volume des réserves au prix.

Pour de nombreuses substances, le volume des ressources augmente énormément avec le coût limite. Ainsi, on exploite actuellement la bauxite qui contient 50 % d'alumine. Les ressources identifiées sont déjà de plus 10 milliards de tonnes. Mais l'anorthosite est une roche qui contient 25 % d'alumine. Si on en extrayait l'aluminium, il suffirait de 8 km³ d'anorthosite pour égaler les ressources identifiées de bauxite. Or, rien que dans l'est du Canada, le sous-sol formé d'anorthosite couvre plus de 100 000 km², soit si l'on suppose une couche de minerai de 1m d'épaisseur seulement, 100 km³, soit 12 fois les réserves identifiées de bauxite ! (Il est vrai que l'aluminium est un des éléments les plus répandus dans la croûte terrestre.) Cet exemple cependant appelle une remarque : abaisser les teneurs en substance utile des minerais exploités (ici de 50 à 25 %) augmente dans bien des cas énormément les réserves, mais exploiter des teneurs plus basses exige systématiquement plus d'énergie et de travail, donc coûte plus cher

Le pic de production

Quoiqu'il en soit, les réserves ultimes sont évidemment finies. De plus, les réserves ne peuvent être exploitées à un rythme croissant jusqu'à la veille de leur épuisement. Le

rythme de production, la production annuelle par exemple, atteindra donc nécessairement un « pic », plus décroîtra jusqu'à épuisement des réserves ultimes. Cependant, prévoir ce pic est un exercice impossible si on n'a pas d'idée des réserves ultimes et surtout de ce que sera l'évolution future des prix. A nouveau il n'y a que pour le pétrole que la discussion sur le pic de production fait sens. Les estimations varient d'ailleurs beaucoup selon les auteurs. Pour certains, tels les géologues rassemblés dans l'ASPO (Association for the Study of Peak Oil) nous y sommes et la production mondiale de pétrole conventionnel va désormais plafonner, ouvrant la voie aux substituts, pour d'autres, parmi eux de grandes compagnies pétrolières, ce n'est pas avant 20 ou 30 ans.

La théorie du pic de production des ressources minérales.

Cette théorie a été initialement formulée dans les années 50 par le géologue pétrolier Marion King Hubbert. Sa thèse principale est que la production annuelle dans une province pétrolière donnée suit nécessairement une courbe en cloche symétrique, et atteint un pic, le « pic de production », par exemple le « peak oil » pour le pétrole, quand la moitié des réserves ultimes ont été découvertes. La production annuelle, après ce pic, décroît progressivement jusqu'à l'épuisement des réserves ultimes. Pour Hubbert et ses successeurs, il en est ainsi essentiellement pour des raisons géologiques. Une fois qu'on a découvert environ la moitié des réserves ultimes, un effort de production constant conduit à des découvertes de moins en moins nombreuses et de plus en plus coûteuses à découvrir et à exploiter.

Cette théorie a été utilisée pour tenter de prévoir le pic du pétrole, et plus récemment, certains experts l'ont utilisée pour annoncer qu'un pic de la production de phosphate pourrait intervenir dans les prochaines décennies. Néanmoins de nombreux autres experts estiment que cette méthode n'est pas utilisable pour évaluer le pic de production et les réserves ultimes des ressources minérales quand on est loin d'avoir découvert la moitié des réserves ultimes probables, ce qui est certainement le cas des phosphates. En revanche, les prédictions d'un prochain pic de la production de pétrole conventionnel sont justifiées (voir le texte pour des évaluations).

Substituabilité

Un grand nombre de substances minérales sont substituables. Ainsi, le pétrole est substituable par d'autres ressources épuisables, telles que le gaz et le charbon, mais aussi par de la biomasse, qui est une ressource renouvelable. On sait, en effet, depuis des décennies fabriquer des carburants liquides avec du gaz, du charbon et de la biomasse. Il suffirait aujourd'hui que le brut se maintienne à 100\$/bl pour qu'il devienne rentable de produire des carburants identiques aux carburants pétroliers avec du gaz et du charbon. A l'horizon d'une trentaine d'années, avec encore de nombreux progrès techniques concernant en particulier la maîtrise du carburant hydrogène, le pétrole, dans sa fonction énergétique, serait substituable par de l'énergie solaire directe, une ressource renouvelable dont l'abondance dépasse très largement tous les besoins humains imaginables. Ce serait naturellement beaucoup plus cher aujourd'hui, mais on peut attendre une forte baisse des coûts de la généralisation des techniques énergétiques exploitant de façon durable des ressources renouvelables.

La plupart des métaux sont également substituables, pour certains il est vrai par d'autres substances dont le coût de production est bien supérieur, et ils sont, nous

allons le voir, recyclables. Mais dans des fonctions très spécifiques, certains métaux dits « spéciaux » ne sont pas vraiment substituables dans l'état actuel des techniques, ou alors à des coûts extrêmement élevés.

Enfin le phosphore, contenu les gisements de phosphates rocheux, est indispensable à la croissance des plantes et dans ce rôle n'est pas substituable. Cependant, du néolithique au XIXe siècle, l'agriculture mondiale s'est passée de l'apport d'engrais chimiques issus de phosphate rocheux. En effet elle recyclait le phosphate que les plantes avaient extrait du sol, en particulier par la fumure organique issue de l'élevage. Ce qui nous conduit à la caractéristique suivante : la recyclabilité.

Recyclabilité.

Il faut faire ici une distinction parmi les substances utiles issus des minéraux. Celles dont l'usage altère à la nature chimique, en premier lieu les combustibles. Celles dont la consommation n'altère pas chimiquement et ne disperse pas trop physiquement les molécules dans l'environnement et qui sont par conséquent recyclables. On a donc dans ce dernier cas une compétition entre deux filières de production : la production de la substance utile à partir du minerai, sa production à partir de déchets recyclés. Ainsi, une hausse du prix des minerais augmente l'intérêt économique du recyclage, et donc le taux de recyclage effectif, ce qui allège d'autant la pression sur les gisements.

Exemples de taux de recyclage des métaux : de 50% : acier en Europe, à plus de 90% : platinoïdes

Inégale répartition géographique des réserves, pouvoir de marché et prix

Le processus géologiques n'ont pas réparti uniformément dans le sous-sol les concentrations de minerais utiles. Dans certains cas, comme le pétrole où le phosphate, ou encore aujourd'hui les terres rares, les gisements connus à plus bas coûts de production sont concentrés dans un petit nombre de pays. Si dans ces pays les gouvernement contrôlent l'accès aux gisements, ils peuvent exercer un pouvoir de marché et faire monter le prix jusqu'à celui des gisements plus coûteux mais éventuellement plus dispersés, voire jusqu'au prix du premier substitut. Ils accaparent ainsi une rente « différentielle » au détriment des consommateurs. Les producteurs chinois de terres rares sont aujourd'hui dans la situation de pouvoir extraire une telle rente, puisqu'ils sont en quasi-monopole sur le marché international.

En revanche, les marchés **compétitifs** des commodités issues des ressources minérales, tels les marchés par exemple ceux de la plupart des métaux non ferreux, du charbon, du phosphate ou du gaz aux Etats-Unis, sont fortement fluctuants sous l'effet des variations de la demande, toujours mal anticipées étant donné les délais de lancement de nouveaux projets, et d'éventuels accidents sur l'offre. Des phases de prix bas et proches des coûts marginaux des mines marginales sont entrecoupées de phases de « fly up » où les prix s'envolent à des niveaux plusieurs fois supérieurs.

Coût marginal et prix de marchés

Dans une installation donnée, le coût marginal de production est coût qu'on ne subit pas quand elle cesse de produire. Dans la production de pétrole par exemple, le coût marginal se réduit au coup de pompe et d'entretien des installations. Il est

beaucoup plus faible que le coût total, qui contient lui l'amortissement et le financement des installations de production et le personnel permanent qui est payé que les installations produisent ou pas. Par exemple en mer profonde, le coût total peut atteindre 40 \$ par baril, alors que le coût marginal ne dépasse pas 10 \$ par baril. Le coût marginal de production de pétrole au Moyen-Orient est extrêmement faible et dépasse rarement 5\$ par baril.

Si le marché d'une commodité minérale est réellement compétitif, c'est-à-dire si aucun producteur ne peut, en faisant varier sa production, influencer le niveau des prix, alors, tant que les capacités de production ne sont pas saturées, le prix d'un marché compétitif s'établit au niveau du coût marginal des unités qui doivent produire pour satisfaire la demande à ce prix.

Si le marché du pétrole était compétitif, son prix de marché s'établirait autour de 10 \$ par baril, coût marginal des puits dont le coût marginal est le plus élevé. Puisque les prix de marché sont nettement plus élevés, cela prouve qu'un certain nombre de producteurs, en l'occurrence les producteurs du Moyen-Orient, exercent un pouvoir de marché, en particulier en limitant l'accès des compagnies étrangères à leurs immenses réserves à bas coût de production.

L'équité entre générations dans l'exploitation des ressources épuisables

Comment se présentent les choses pour les ressources épuisables ?

Toutes les ressources épuisables actuellement extraites du sous-sol présentent une ou plusieurs des caractéristiques que nous avons évoquées ci dessus. Soit elles sont extrêmement abondantes, à leur coût actuel d'extraction. C'est le cas, par exemple, des minerais de fer ou d'aluminium, deux substances très abondantes dans la croûte terrestre. Soit elles sont recyclables et recyclées dans des proportions variables et croissantes avec l'augmentation du coût de la ressource primaire. Soit elles sont substituables par des ressources abondantes d'un coût plus élevé. C'est le cas, on l'a dit, du pétrole conventionnel.

Prenons l'exemple du lithium. La perspective d'un développement rapide de véhicules électriques à batteries au lithium fait craindre à certains une pénurie prochaine de ce métal. Cela constituerait un sérieux obstacle au développement d'une technologie qui, sous réserve d'une production d'électricité dé-carbonée, contribuerait fortement à la lutte contre le changement climatique dans le domaine des transports. Mais l'augmentation des prix du lithium que cette perspective a déjà et peut encore engendrer va relancer la recherche de nouveaux gisements de lithium, dont nous n'avons aujourd'hui aucune idée précise des réserves « ultimes », c'est-à-dire disponibles à un coût inférieur à celui d'un substitut abondant. Elle rendra, de plus, très profitable, une fois réalisé le premier équipement du parc, le recyclage des batteries. Enfin elle stimulera la recherche pour abaisser les coûts d'autres solutions pour les batteries.

Autre exemple : une inquiétude s'est manifestée, plus récemment, à propos du phosphore, un fertilisant en effet insubstituable. Or, une nette augmentation du prix des phosphates naturels, alignés depuis près de trente ans sur les coûts de production des meilleures réserves mondiales (situées, en particulier, au Maroc),

augmenterait significativement le volume des réserves et stimulerait des économies dans leur utilisation et un certain recyclage par modification des pratiques agricoles, par ailleurs nécessaire pour bien d'autres raisons.

Dans le domaine des ressources « épuisables », on parvient donc à une conclusion simple et robuste. Par définition, leur exploitation par la génération présente les « dégrade », en ce sens qu'elle réduit un stock incontestablement fini. Cependant, d'une part, cette « dégradation » connaît des mécanismes économiques régulateurs qui passent par l'augmentation des prix relatifs et, d'autre part, aucune d'entre elles n'est vraiment insubstituable. La raréfaction de certaines d'entre elles prendra simplement la forme d'une évolution des prix relatifs de ces ressources, les unes par rapport aux autres, et par rapport aux autres capitaux.

Les normes du type « principe de précaution » qui sont par exemple applicable aux ressources renouvelables susceptibles de connaître des effondrements irréversibles, n'ont donc aucune justification à leur sujet. Il n'y a aucune raison de ne pas les exploiter sans contrainte et il faut commencer, naturellement, par exploiter les moins coûteuses.

En revanche, il peut être parfaitement justifié de poser des limites à leur consommation, en particulier lorsqu'elle provoque des rejets nocifs dans l'environnement, ce qui est le cas d'un grand nombre d'entre elles, à commencer par les combustibles fossiles. Nous avons en vérité beaucoup plus des problèmes de rejets excessifs que d'épuisement des ressources.

Cependant, avons-nous le droit d'épuiser rapidement les réserves de pétrole conventionnel à moins de 20 dollars le baril, ou devons-nous en laisser aux générations futures ? Une réponse purement économique à ce genre de question exigerait de comparer des coûts et des bénéfices, et donc d'utiliser un taux d'actualisation, sur de très longues périodes (de l'ordre, par exemple, du siècle).

Or, la définition d'un tel taux d'actualisation, de l'intérieur de l'économie, se heurte non seulement à des difficultés pratiques, mais aussi à des difficultés théoriques insurmontables. Il faudrait d'abord prévoir, sur de très longues périodes, l'évolution non seulement du progrès technique, mais aussi des préférences des générations futures, et en particulier le prix relatif qu'elles accorderont aux éléments du capital naturel que nous envisageons de préserver à leur intention. Mais cela ne suffirait pas : il faudrait aussi définir un taux de « préférence pure pour le présent », c'est-à-dire une norme d'équité intergénérationnelle. Quelle valeur relative voulons-nous donner au bien-être des générations futures, par rapport au nôtre ? Zéro : « Après nous, le déluge » ? Un : « Ce sont nos frères, traitons-les exactement comme nous-mêmes » ? Ou alors : une valeur intermédiaire ? Il est clair que ce choix n'est pas de nature économique, mais qu'il doit résulter d'un processus, politique, de définition d'une préférence collective.

Le taux d'actualisation.

On se demande quelle somme il est légitime de dépenser aujourd'hui, par exemple en réduisant les émissions de gaz carbonique, pour éviter des dégâts qui interviendront

dans 20 ans en raison du changement climatique et que l'on peut chiffrer, par exemple, à 1000.

S'il existe un marché financier offrant des obligations à 20 ans rapportant 5 % par an, par exemple, la question revient à se demander quel somme il faut mettre de côté aujourd'hui, qui, placée à 5 %, donnerait 1000 dans 20 ans, c'est-à-dire de quoi compenser les coûts des dégâts attendus.

Cette somme est de 370, on l'appelle « la valeur actuelle » de la somme de 1000 dans 20 ans, actualisée avec un taux de 5 %. Au lieu d'épargner pour couvrir le coût des dégâts, on peut aussi bien financer des actions du même montant, qui éviteront que les dégâts ne se produisent.

Quand il n'existe plus de marchés financiers, c'est-à-dire en pratique au-delà de 30 ans, il devient impossible de déterminer un taux d'actualisation sans choisir au préalable un critère d'équité intergénérationnel, comme indiqué dans le texte.

Une fois les normes choisies, le calcul économique devient possible. Sous réserve, toutefois, de la très forte incertitude pesant sur la connaissance des évolutions du progrès technique et des préférences formulée ci-dessus.

Que nous dit donc la théorie économique si l'on adopte une norme d'équité intergénérationnelle très exigeante, par exemple : « le bien-être des générations futures, après l'épuisement des moins coûteuses de ces ressources, doit rester au moins égal au nôtre » ? La réponse est la suivante. Il faut toujours sans état d'âme exploiter d'abord les réserves à bas coût, mais, si l'on veut que le bien-être des générations futures n'en soit pas affecté, il faut aussi réinvestir intégralement les rentes minières dans d'autres formes de capital, transmissibles à la génération suivante². La rente minière étant la différence entre le prix de marché et le coût d'extraction d'un gisement particulier. Les rentes minières reviennent normalement aux Etats « propriétaires » des ressources du sous-sol, au nom de la génération actuelle et des générations futures. C'est donc aux Etats de réinvestir les rentes.

Mis à part la Norvège, et à un certain degré l'Alaska, le Botswana et certains Etats pétroliers peu peuplés du Golfe arabo-persique, aucun ne le fait, actuellement. Ils se comportent donc d'une manière telle que le niveau de bien-être de ces pays chutera, quand leurs réserves seront épuisées.

²C'est la règle dite de Hartwick : voir Hartwick, John M. [1977] "Intergenerational Equity and the Investment of Rents from Exhaustible Resources" American Economic Review, 67, December, pp. 972-74