

+Les marchés de matières premières et le pillage du monde

Chart 1 Introduction

Pourquoi parler de pillage du monde ? Parce que utiliser à une vitesse effrénée des ressources qui ont mis des milliards d'années à se constituer, c'est bien sûr s'enfoncer dans une impasse.

Pour mettre à jour cette incompatibilité, je vous propose un coup d'oeil sur la géologie ou plutôt la métallogénèse, les impacts des mines et de la métallurgie sur l'environnement, le fonctionnement des bourses et des marchés dominés par quelques grands acteurs, les estimations des ressources récupérables du sous-sol, les limites du recyclage, et, au coeur de la dépletion générale, les métaux critiques à échéance d'une ou deux générations.

Chart 2 La Terre vivante aussi à l'intérieur

La Terre est vivante, non seulement en surface mais à l'intérieur. Le noyau est constitué de nickel et de fer, en fusion dans sa partie externe mais solide dans la graine centrale, tant les pressions sont élevées ; il rassemble les éléments les plus denses. Le manteau comprend des zones de roches à l'état liquide et d'autres où elles se trouvent à l'état pâteux. Des mouvements de convection du centre vers la périphérie, et inversement, animent l'ensemble, ce qui permet, à la rencontre de masses différentes et éventuellement d'eau les réactions créant des gisements de minerais.

Chart 3 Deux types principaux de gisements métallifères

Les gisements de minerais sont des concentrations de composés, à des niveaux inhabituels, qui résultent de phénomènes géologiques s'étalant sur des milliards d'années. Des relations complexes entre le noyau chaud de la Terre et son écorce, via des phénomènes hydrothermaux, aboutissent à la constitution de gîtes minéraux riches en un ou plusieurs éléments métalliques. D'où l'expression : « les cadeaux de Gaïa », la terre vivante.

Les phénomènes hydrothermaux sont les plus importants et ont conduit par exemple à la constitution des gisements de métaux non-ferreux le long de la cordillère américaine, le long du piège géologique des failles entre la chaîne montagneuse et les fosses marines.

Deux autres catégories de gisements ont des origines différentes :

- les gisements magmatiques, formés à haute température et à grande profondeur (Cr, Ni, Co)
- les gisements sédimentaires, résultant de l'altération de roches-mères ou l'alimentation par transport d 'éléments, tout particulièrement dans les climats tropicaux (Fe, Al, Ni)

Chart 4 Les minerais sont beaucoup plus riches en métaux que l'écorce terrestre

L'écorce terrestre est principalement constituée d'oxygène et de silicium, puis d'aluminium et de fer. C'est ainsi que beaucoup de roches sont des silicates d'alumine, des silicates ferromagnésiens, et d'autres silicates ; la variété des espèces minérales élémentaires fait l'objet de la minéralogie.

On trouve l'aluminium dans les gisements de bauxite assez homogènes autour de la planète contenant 50 à 60 % de l'oxyde Al_2O_3 ; pour le fer le contenu des gisements est proche d'un mélange d'oxydes purs, hématite et magnétite.

Pour les métaux non-ferreux et précieux les gisements sont beaucoup plus riches que l'écorce terrestre de 100 à 1000 fois, même 2000 et 5000 fois pour le zinc et l'argent. Sans toutefois atteindre les teneurs rencontrées pour l'aluminium et le fer, dont les minerais sont les plus abondants pour des coûts de production les plus bas.

Chart 5 et Chart 6 Les gisements de cuivre et leurs minerais

La répartition des gisements sur la terre est tout à fait inégale ce qui conduit à la constitution de ce qu'on appelle des rentes minières : certains pays disposent dans leur sous-sol de ressources à coûts bas, d'autres à des coûts plus élevés, et enfin la plupart n'ont pas de ressources du tout.

Pour le cuivre, on voit ainsi que les gisements porphyriques qui constituent la majeure partie des réserves mondiales sont concentrés out au long de la cordillère américaines, Rocheuses au Nord, Andes au Sud, et dans la zone volcanique du Sud-Est asiatique. Les gisements sédimentaires les plus riches mais aussi plus complexes à traiter se trouvent dans le fameux « Copper Belt » à la frontière du Katanga (RDC) et de la Zambie.

Les minerais des gisements porphyriques sont essentiellement constitués de sulfures tandis que les gisements sédimentaires comportent principalement des oxydes, carbonates, chlorures. Outre ces principales espèces de minerais de cuivre, on trouve de nombreuses espèces rassemblant le cuivre, le cobalt, le zinc, le plomb.

Chart 7 et Chart 8 Métallurgie du cuivre / Métallurgie de l'aluminium

Les minerais de fer subissent un broyage/concassage et un enrichissement léger par séparateurs magnétique, par gravité, ou par flottation. Pour l'aluminium, la bauxite après broyage/concassage est en général attaquée directement à la soude chaude pour en extraire l'alumine qui alimente le procédé métallurgique. Pour la quasi-totalité des autres métaux, la teneur en métal du minerai est faible et il faut alors concentrer fortement les particules porteuses du métal recherché par flottation de façon à s'approcher de la composition des composés purs (de 30 % à 60% de métal) : cette étape est très délicate, pilotée par un choix précis de la taille des particules et des produits chimiques de flottation adaptés.

La procédé d'extraction métallurgique est propre à chaque métal et minerai. Les minerais sulfurés sont en général traités en 3 étapes : grillage et fusion pour matte, convertissage, affinage électrolytique. Les minerais non ferreux oxydés sont le plus souvent traités par hydrométallurgie (électrolyse ignée pour l'aluminium).

Les coûts d'investissements sont gigantesques : alors qu'un groupe anglo-indien rachète à Rio Tinto l'usine d'aluminium construite par Péchiney à Dunkerque en 1991 (500 millions € pour 280000 tonnes), une usine neuve construite au Qatar a coûté 3,7 milliards € pour 585000 tonnes).

Chart 9 et Chart 10 Les grandes mines à ciel ouvert / La pollution des mines

Opérations minières et procédés métallurgiques impactent fortement leur environnement : c'est leur face sombre.

Dans les mines à ciel ouvert, le dynamitage et les camions de la taille d'une maison qui charrient jusqu'à 350 tonnes de roche créent des nuages de poussières permanents. L'atmosphère au fond du trou est pour le moins un peu viciée et les mines les plus profondes entraînent des perturbations atmosphériques au-dessus. Le cimetière de Calama, ville la plus proche de Chuquicamata, comporte un quartier des « morts à l'arsenic » du fait des poussières ingérées causant des problèmes respiratoires.

Les mines souterraines peuvent conduire à des effondrements de terrain et surtout un lessivage du sous-sol emmenant des métaux lourds (As, Hg, Pb, Cd) et autres indésirables dans les cours d'eau et les terrains de surface.

Les minerais, sauf pour le fer et l'aluminium, contiennent de faibles quantités de métal, et la gangue inutile s'accumule dans les stériles. Pour la seule production mondiale de cuivre, on estime que le tonnage de roches extraites approche 4 milliards de tonnes soit plus que la production annuelle de béton dans le monde.

Pire, quelques traitements chimiques des minerais entraînent des pollutions irréductibles : le cyanure pour l'or, mais aussi les acides pour la lixiviation in situ.

Et il ne faut pas aller bien loin pour retrouver les signes de ces problèmes : à Saint Félix de Pallières dans le Gard, la société Umicore a été mise en demeure de confiner les 2 millions de tonnes de résidus miniers laissés sur les sites après la fermeture de la mine en 1971, après constat de pollution des eaux et des sols et contamination d'une partie de la population en arsenic et cadmium.

La métallurgie produit beaucoup moins de résidus en tonnage, mais plus complexes à traiter : crasses, laitiers, boues résiduelles d'électrolyse.

Chart 11 Les flux de cuivre par niveau d'élaboration

Un métal est commercialisé sous de multiples formes. Prenons l'exemple du cuivre, bien documenté par le Fraunhofer Institute.

Pas de commerce de minerai, comme pour le fer, car ce serait transférer dans le pays destinataire tous les stériles avec des coûts de transport très élevés par tonne de cuivre contenu. Le commerce international commence donc avec les concentrés issus des ateliers de flottation qui contiennent de l'ordre de 30 % de cuivre. Le Chili et le Pérou produisant le plus important tonnage de minerais exportent une part significative du cuivre contenu en concentrés, surtout en Chine, et secondairement vers le Japon et l'Europe. La seconde zone exportatrice de concentrés est le Pacifique (Australie, Indonésie, Philippines). Ce type de flux, basé sur des contrats à long terme, comporte des risques particuliers car les concentrés ne sont pas des produits standardisés.

A l'inverse, le cuivre métal brut (cathode ou wirebar) est un produit standardisé, substituable d'une source à une autre. On retrouve un schéma de flux similaire avec l'Amérique du Sud principal exportateur, suivie par la zone Pacifique, essentiellement en direction de la Chine, mais aussi avec des flux marginaux de l'Europe et du Japon toujours vers la Chine.

Pour les semi's (demi-produits : fil, tôle, barre, tube), les flux sont plus réduits, chaque grande zone se fournissant localement pour ces produits moins standardisés dont les critères de qualité sont rigoureux.

Chart 12 Le bilan cuivre par zone géographique

Le Fraunhofer Institut a poussé l'analyse jusqu'au bout, c'est-à-dire jusqu'aux produits finis contenant du cuivre : voitures, équipement domestique, électroménager, câbles des réseaux, électronique, .. On voit ainsi que la Chine est une gigantesque usine à transformer des produits bruts importés en produits finis tant pour sa consommation intérieure que pour l'exportation. L'Amérique du Nord, l'Europe, et le Japon sont aussi globalement importateurs nets, tandis que

l'Amérique du Sud est largement exportatrice, et que le reste du monde importe en produits finis autant de cuivre qu'il en exporte en produits bruts. Pour d'autres métaux la structure des flux est évidemment très différente, comme on le verra pour certains métaux rares, en fonction d'une répartition très inégalitaire des ressources et d'un développement de leurs usages tout aussi inégal selon les régions du monde.

Charts 13 et 14 Les grandes compagnies minières et sidérurgiques

Les marchés de minerais et métaux sont contrôlés par de grands groupes internationaux multimatériaux, quelques compagnies spécialisées dans chacun des secteurs, et une poignée de traders à l'échelle mondiale. La très grande majorité des contrats d'approvisionnement sont conclus directement entre le producteur et le client, même si la référence de prix est extérieure. Les traders interviennent dans les flux des « major metals » en assurant les compléments de ventes ou d'achats nécessaires en fonction de la conjoncture ; ils jouent un rôle plus important pour les « minor metals » qui ne sont pas cotés au LME. Deux d'entre eux dominent cette activité ; Glencore et Trafigura depuis la disparition de Metallgesellschaft/Enron.

On retrouve Glencore, avec un CA total supérieur à 200 Mds \$, en tête des compagnies minières et métallurgiques, loin devant Rio Tinto, BHP Billiton, et Vale ; 3 compagnies centrées sur le cuivre se trouvent dans les 10 premières. Alcoa, 3ème producteur d'aluminium, avec 20 à 25 Mds \$, en aurait fait partie avant de se scinder en 2 sociétés. Rusal 2ème producteur d'aluminium derrière Rio Tinto, atteint 10 Mds \$.

Comment Glencore est-elle parvenue à ce niveau ? Si Glencore n'évoque rien de particulier, le nom de Marc Rich qui l'a dirigée rappelle un trader que la Suisse a refusé d'extrader aux USA qui le demandaient pour jugement de ses fraudes fiscales. Glencore a réalisé de très importants bénéfices, durant les 4-5 années qui ont suivi la chute du mur de Berlin, en produisant de l'aluminium en « tolling » à un tarif très avantageux dans les usines russes qui n'avaient plus de marché intérieur, et en achetant de l'alumine indexée sur le prix de l'aluminium : le marché mondial en était inondé, d'où une forte chute des prix à certains moments inférieurs à 1000 \$/tonne dont les compagnies occidentales ont souffert.

Et comment Mittal a-t-elle pu absorber Arcelor (Usinor + Arbed) ? Deux phénomènes se sont produits conjointement durant les années 1980 - 2000. Les usines françaises des années 60 avaient été construites en bord de mer, en grande taille pour bénéficier d'économies d'échelle, sur un schéma haut-fourneau à feu continu + minerai de fer importé. Dans les années 80, d'importants progrès ont été réalisés en résistance des aciers courants, avec un gain atteignant parfois 20 % : il fallait alors 20 % de fer en moins pour le même résultat. Et de l'autre côté, les aciéries électriques s'approvisionnant en ferrailles de plus en plus

abondantes ont beaucoup amélioré leurs procédés, parvenant ainsi à produire des nuances d'aciers jusqu'alors réservées aux usines basées sur le minerai...qui sont ainsi devenues surcapacitaires.

Chart 15 Qu'est-ce qu'une commodity ?

La quasi-totalité des contrats se réfèrent à des prix « officiels » déterminés quotidiennement dans des bourses des métaux ou publiés par des experts au fait de ces marchés. On appelle ces produits des « commodities » dont les caractéristiques permettent le fonctionnement de ces bourses et les justifient : une cathode de cuivre, un lingot d'aluminium sont des commodities, pourquoi ? Trois caractéristiques ont fait entrer progressivement des métaux dans le cercle du LME. En 1975, dans un séminaire du syndicat professionnel français des métaux non-ferreux où j'avais parlé du cuivre et de l'argent, on m'a posé une question sur l'entrée potentielle de l'aluminium au LME, à laquelle j'ai répondu que l'aluminium présentait toutes les caractéristiques d'une « commodity ». Tollé de Péchiney, qui à l'époque vendait à un prix producteur : « jamais l'alu ne sera au LME ». En 1978 c'était chose faite.

Chart 16 La formation des prix

Le schéma du « cobweb » (toile d'araignée) de l'économiste américain Mordecai Ezekiel montre que la formation du prix d'une « commodity » tend vers un prix d'équilibre ... toujours reporté du fait de variations de l'activité économique. D'où les fluctuations des prix à court terme ajustant la demande à l'offre. En pratique, la demande à très court terme est très inélastique et l'ajustement de l'offre se réalise par les stocks et, éventuellement, une réduction/augmentation de la production.

Chart 17 Le London Metal Exchange

Le LME est en fait un marché terminal, où apparaissent les offres et les demandes qui n'ont pas pu trouver de contrepartie par les canaux de transactions hors bourse ; néanmoins c'est le LME qui sert de référence à la quasi-totalité des contrats pour les « major metals ».

Le but initial du LME, outre la fixation d'un prix de référence, consiste à permettre une couverture des risques de fluctuations des prix pour les ventes et achats de métal à une échéance future.

Chart 18 Le Hedging d'un producteur

Cet exemple sur une vente de nickel, pour lequel le lot LME est de 6 tonnes, au prix inconnu de la date de livraison montre que le producteur peut garantir sa

recette au niveau du prix « forward » de la date de livraison (on sort de l'inconnue du prix spot à l'échéance). Le bénéfice de l'opération « papier » compense la baisse du prix spot entre le jour de la commande et la date de livraison. Un acheteur pourrait faire une opération inverse, s'il craint une hausse du prix spot. Les transformateurs qui convertissent un métal brut en demi-produits à usage industriel utilisent largement ces techniques pour que les fluctuations du prix du métal n'entament pas leurs marges de transformation. Le LME offre beaucoup d'autres possibilités plus sophistiquées, telle que le droit d'acheter ou de vendre (mais sans obligation), etc..Le nombre d'opérations réalisées est tel que ces transactions représentent plus de 40 fois la production annuelle des métaux concernés... ce qui stimule encore plus les fluctuations de prix. En 2018 le volume des transactions a atteint 15700 Mds \$.

Chart 19 Une période de quasi-stabilité du prix du cuivre

Que faire contre les fluctuations des prix que craignent autant les producteurs que les clients industriels ? Ce sont les producteurs qui ont le plus cherché à stabiliser les prix par deux techniques : celle d'un prix producteur décidé et suivi par la majeure partie des fournisseurs, et celle du « buffer stock » (stock régulateur) qui consiste à maintenir les prix dans un tunnel, en achetant du métal quand le prix tend à passer sous le minimum et à le vendre quand le prix tend à dépasser le plafond. Ce dernier système a fonctionné pour l'étain, mais a finalement disparu suite à une mauvaise gestion et aussi...du simple fait que l'affichage des prix plancher et plafond permet toutes les spéculations. Difficile de maîtriser le marché avec autant de traders !

Il faut simplement noter une réussite notoire ... parce qu'elle fut occulte. Fin 1962, Sir Ronald Prain, manager des opérations en Zambie, « le pape du cuivre » à cette époque, a réuni à Londres autour d'une tasse de thé, Mr Lefèvre de SGM/UMHK pour le Congo Kinshasa, Javier Laguarrigue pour le Chili, et X... pour le Pérou. Un surplus de quelques 150000 tonnes est prévu pour les prochains 18 mois. Les 4 responsables décident alors de commencer à acheter sur le marché libre via un trader afin de maintenir les stocks apparents à peu près au même niveau pour les revendre une fois les surstocks résorbés : un buffer stock occulte qui fonctionne d'autant mieux qu'il est occulte.

Ce fonctionnement des marchés au jour le jour, avec ses possibilités d'assurance pour les uns et de spéculation pour les autres, à court ou moyen terme, fait perdre de vue les risques à long terme et leurs conséquences.

Charts 20 et 21 Réserves ou ressources ? / Durée de vie des réserves

Parler du long terme, c'est examiner les réserves et ressources pour chacun des métaux, ces deux termes ayant une signification de plus en plus précise parmi les experts. En résumé, on considère comme réserves les tonnages contenus dans le

sous-sol, « measured (maille serrée) and indicated (maille large) » dont on estime qu'ils pourraient être économiquement exploités, y compris à des prix plus élevés qu'aujourd'hui.

Le mérite du recueil de données USGS est leur cohérence. Une estimation différente a été retenue pour l'Uranium, sujet très documenté, conduisant à une durée de vie sans doute plus longue. Ce métal sera examiné plus en détail parmi les matériaux critiques.

L'ADEME, afin de conforter cette analyse, a comparé ces résultats aux durées de vie résultant de la poursuite de la croissance de la consommation au même rythme que durant la période 2000-2016. Il se confirme :

- un premier groupe de métaux dont l'épuisement des réserves se ferait sentir à brève échéance sans nouvelles découvertes importantes : Sb, Pb, Zn, Au, Ag,
- un second groupe pour lequel les risques sont plus éloignés mais réels : Cu, Ni, Co, Mo, Mn, Nb, Ta
- tandis que les PGMs, les terres rares, le Lithium apparaissent disponibles pour longtemps ; néanmoins les deux derniers sont critiques pour d'autres raisons.

Chart 22 Le pic de Hubbert

Compte tenu des incertitudes concernant les nouvelles découvertes d'un côté, et les évolutions techniques et économiques du côté de la demande, ces estimations apparaissent dotées d'un haut degré d'incertitude. Peut-on faire mieux ?

Marion King Hubbert a publié en 1956 une prévision de la production de pétrole aux USA avec un pic en 1970... qui s'est réalisée : en décalant de 30 ans environ les découvertes de gisements on obtient une courbe en cloche de la production, que l'on peut prolonger mathématiquement. Si la production de pétrole a connu un rebond vers la fin des années 1990, la raison en est l'exploitation nouvelle de gisements non conventionnels à savoir le pétrole de schiste : elle ne remet pas en cause le principe de cette analyse.

Comment l'interpréter ? Hubbert a simplement compris qu'une croissance exponentielle de la production d'un gisement donné non renouvelable ne pouvait se poursuivre éternellement et que la méthode d'exploitation conduisait en général à utiliser les ressources les plus rentables en premier lieu. On retrouve ce schéma décrivant l'historique des productions de nombreux métaux, et les historiques de production de plomb et de cuivre semblent le confirmer.

Chart 23 La hausse récente des prix du cuivre.

Chart 24 Prix bas du cuivre au moment du pic de Hubbert ?

Chart 25 Les ressources récupérables in fine

Mieux, en linéarisant le modèle de Hubbert, grâce à une mise en relation différente des données, on peut estimer avec une bonne précision les ressources totales récupérables d'un gisement, d'un ensemble de gisements, et finalement de la totalité des gisements de la planète, indépendamment d'une connaissance géologique détaillée des réserves. Est-ce vrai ?

Deux chercheurs de l'Université de Bologne, Marco Pagani et Stefano Caporali ont appliqué la linéarisation du modèle de Hubbert pour une dizaine de métaux avec d'excellents tests d'intervalle de confiance : chrome, molybdène, nickel, PGMs, cuivre, zinc, etc avec un modèle à un pic. Quelques-uns (Lithium-métal jeune-, antimoine, cobalt et fer) présentent une courbe à 2 pics qui demande d'autres recherches. Enfin, les courbes pour le mercure, l'or, et le plomb présentent de nombreuses oscillations. Mais pour nombre d'entre eux, la linéarisation permet de prévoir des ressources récupérables totales différentes des estimations USGS, inférieures pour le platine, le chrome, le titane, mais supérieures pour le cuivre, le nickel, le zinc, qui semblent néanmoins plus réalistes compte tenu des résultats des tests statistiques.

Chart 26 Les consommations d'énergie selon les métaux

Selon les métaux, l'énergie nécessaire à la production du métal neuf est concentrée sur les phases d'extraction et de traitements des minerais ou sur la métallurgie. Sans surprise les métaux les plus rares demandent la plus grande quantité d'énergie : le platine 52800 kWh/kg mille fois plus que le nickel, tandis que l'acier et l'aluminium se contentent de 39 et 58 kWh/kg.

Charts 27, 28 Consommation d'énergie selon la teneur et besoins en eau

L'estimation des quantités disponibles sous-entend que divers phénomènes rendent plus complexe l'exploitation des gisements au cours du temps. Plus la teneur du minerai baisse, et plus il faut d'énergie, toutes choses égales par ailleurs, pour en extraire le métal. Et pour la flottation destinée à sortir le minéral utile de sa gangue d'énormes quantités d'eau sont nécessaires obligeant déjà à utiliser de l'eau de mer comme au Chili.

Chart 29 Des taux de recyclage en fin de vie modestes ou très faibles

Ce tableau parle de lui-même : seuls les métaux de tonnage important (économies d'échelle) et les métaux précieux (du fait de leur valeur) sont recyclés à plus de 50 % après usage. La plupart des métaux mineurs rares, en particuliers les terres rares, n'atteignent pas un taux de recyclage de 10 %. Voyons pourquoi à l'aide de deux exemples : les voitures et les smartphones.

Charts 30 et 31 Le VHU : Composition / mode de traitement

En fin de course, par accident ou par usure, votre voiture devient un VHU dont le contenu remonte au design datant de 18 ans en moyenne. Si l'acier et la fonte, avec les métaux non-ferreux de base, y compris dans les faisceaux électriques, constituent l'essentiel du poids, celui-ci contient aussi de nombreux plastiques, du verre, des tissus, et des éléments nobles disséminés dans les pots catalytiques, et les multiples appareils électriques et électroniques.

La filière de recyclage des VHU se compose de deux étapes : la 1ère, celle du « caasseur » qui prend en charge votre voiture, dont l'activité consiste à vendre des pièces détachées que les acheteurs vont démonter eux-mêmes le plus souvent, à récupérer des pièces massives de valeur (radiateurs, bloc moteur fonte ou alu, jantes alu abimées,..), et ensuite envoyer le véhicule à moitié désossé, la « carcasse », vers un broyeur. En France on compte 1700 centres de traitement des VHU et 60 centres de broyage agréés qui produisent la ferraille E40 (ex 33, « déchiqueté » ou « broyé »), des métaux non ferreux, et des résidus lourds et légers qui contiennent encore des éléments de valeur.

Auparavant ce RBA, Résidu de Broyage Automobile » était déposé dans des décharges, plutôt moins contrôlées que plus, et les « gypsies » y décortiquaient les câbles électriques pour en retirer le cuivre. Ces dernières années, ces résidus partaient loin, comme les déchets plastiques, en Chine ou ailleurs. Mais la Chine ne veut plus être la poubelle du monde, et ils finiront de plus en plus en enfouissement et en incinération.

Chart 32 Le smartphone

Beaucoup plus petit, le smartphone recèle aussi une belle panoplie de matériaux, surtout de métaux nobles, comme les aimants permanents Fer-Néodyme-Bore des micros et haut-parleurs.

Chart 33 le cycle de l'aluminium

L'industrie parle de 3 catégories de déchets et débris (les « scraps ») : les chutes internes à l'industrie elle-même (le home scrap), les chutes des clients utilisateurs (le manufacturing scrap), reprises en général par le fournisseur ou des marchands spécialisés, enfin les objets hors d'usage (le old scrap), dont le métal proprement dit ne constitue pas toujours la part essentielle.

Il révèle que la récupération de old scrap ne représente qu'environ 22 % de la consommation de la même année. Bien entendu, ces 22 % proviennent du stock

d'aluminium en cours d'utilisation, datant de quelques mois pour les boîtes boissons, 10 à 15 ans pour les voitures, 40 ans ou plus pour les machines ou la démolition des bâtiments. Et une part non négligeable part en décharge ou vers l'incinération.

Chart 34 Le cycle du cuivre

Pour le cuivre, le schéma des flux est plus précis, indiquant une estimation du tonnage de cuivre en cours d'utilisation, la bagatelle de 452 Mt, d'où sortent chaque année 12,5 Mt de débris (cuivre usagé), dont seulement 40 % suit le chemin vertueux du recyclage. Ce schéma très complet du Copper Study Groupe établi par le Fraunhofer Institute indique également les pertes quasiment « fatales » à toutes les étapes de traitement : au total 2,6 Mt de « permanent losses ». Les limites du recyclage sont évidentes.

Chart 35 les limites du recyclage

Comme le montre ce schéma simplifié, dans un marché en croissance d'un métal donné, il faut toujours des ressources d'origine minière ou métal vierge pour satisfaire la demande, même si le recyclage des produits en fin de vie atteignait 100 % et en l'absence de pertes en cours de fabrication.

Chart 36 Les terres rares

Les terres rares ont beaucoup fait parler d'elles, même si elles ne sont pas globalement très rares. Elles constituent une famille d'éléments chimiques très réactifs dont les individus sont difficiles à séparer chimiquement : il faut utiliser la cristallisation fractionnée ou la séparation liquide/liquide par solvants. Elles ont d'abord été utilisées ensemble sous forme de ferro-mischmetal bien connu pour les pierres à briquet. Individuellement, on les utilise dans les photophores des écrans de télévision et en dopage des lasers.

Aujourd'hui outre leurs applications en couleur, elles sont indispensables pour les aimants permanents puissants, les batteries rechargeables, en catalyse, et dopants d'alliages métalliques. Un ensemble d'applications variées, high tech pour la plupart.

Chart 37 La voiture et les terres rares

Toutes les voitures particulières contiennent des terres rares dans les nombreux moteurs électriques de confort, les capteurs, le pot catalytique, les écrans. Mais les véhicules hybrides et « full electric » en contiennent 2 fois plus. Le développement attendu du marché de ces véhicules, encouragé par les gouvernements comme par les constructeurs, va donc faire croître

considérablement la demande de terres rares : pourra-t-elle être satisfaite et jusqu'à quand ?

Chart 38 La Chine et les terres rares

Le problème des terres rares vient du fait que la Chine détient la moitié des ressources mondiales, définit les tonnages qu'elle est prête à exporter, fixe le prix, car elle exerce finalement un monopole sur le marché face à la poignée d'autres producteurs. La crise de 2011-2013 l'a bien montré. Qui plus est, le développement effréné du marché automobile chinois, qui ne peut se poursuivre pour l'essentiel qu'avec des véhicules électriques sous peine d'asphyxie des villes, dérivera une part croissante des ressources vers le marché intérieur : certains spécialistes envisagent même que la Chine devienne importatrice de terres rares au cours de la prochaine décennie, en préservant stratégiquement ses ressources pour le long terme. Il n'y a pas beaucoup d'alternatives pour les pays occidentaux.

Chart 39 Les métaux critiques

A deux reprises, en 2014 et 2017, l'Union Européenne a dressé une liste des matériaux (non seulement les métaux) critiques pour l'économie européenne, et engageant les entreprises et les Etats Membres à sécuriser leurs approvisionnements et/ou à rechercher des solutions alternatives de substitution. Les USA disposent de longue date d'un « Stockpile of Strategis and Critical Materials », initialement conçu pour les seuls besoins militaires mais étendu de facto à l'économie toute entière. L'UE a allongé en 2017 sa liste à 28 matériaux ; les cas du cobalt, du lithium seront examinés plus loin, et bien que l'uranium ne soit pas mentionné, son cas mérite aussi une certaine attention. Plusieurs matériaux non métalliques sont indiqués : il faut noter en particulier les phosphates, le caoutchouc naturel, la barytine (sulfate de baryum), et le spath-fluor qui sert de fondant en aciérie et de base à l'industrie du fluor et à la préparation de l'électrolyse de l'aluminium. Pour la grande majorité de ces matériaux critiques, c'est la Chine qui détient le plus fort tonnage de ressources.

Chart 40 Le cobalt

C'est bien sûr encore le marché des batteries de grande capacité qui tire le marché du cobalt qui y trouve actuellement la moitié de ses débouchés. Son prix avait dépassé 90\$/kg début 2018, 10 ans après la crise de 2007, pour retomber à 29\$/kg mi 2019. La RDC est de très loin le principal fournisseur mondial, et son instabilité génère des tensions sur le marché. Le cobalt est extrait en sous-

produit du cuivre mais aussi à partir de minerais plus riches en cobalt extraits dans des mines artisanales revendus à des courtiers tel Glencore et Molybdenum, ce dernier le transformant pour le marché chinois.

Chart 41 Le Lithium

Le lithium trouve aussi son principal débouché (environ 60%) aujourd'hui dans les batteries pour véhicules électriques et systèmes embarqués. Les principaux gisements se trouvent dans les salars d'Amérique du Sud qui sont principalement exploités aujourd'hui dans l'Atacama au Chili et à Hombre Muertos en Argentine par pompage de saumures séchées en surface et précipitation de carbonate de lithium. Le grand salar d'Uyuni en Bolivie fait l'objet de recherches ...mais aussi d'actions de protection de cet environnement unique. Les ressources sont très concentrées dans cette région avec des coûts de production compris entre 2\$/kg et 5\$/kg ce carbonate pour les derniers projets miniers.

La question majeure est de savoir si le système de production pourra répondre à un emballement du développement des véhicules électriques

Chart 42 L'uranium

Et l'uranium ? le lissage d'une courbe en cloche du type Hubbert sur l'historique des productions révèle un maximum vers 2030 et une fin d'exploitation au 1^{er} tiers du prochain siècle. Un avenir un peu incertain, sachant qu'une partie importante des ressources devront provenir du Kazakhstan, en complément de l'Australie et du Canada

Chart 41 Nécessité de la sobriété

Alors que les gisements ont mis des millions et des milliards d'années à se constituer, le rythme de consommation actuel ne peut être compensé par les recettes d'une durée de vie prolongée des objets, de leur réutilisation, du recyclage, ou du « urban mining » sur un laps de temps de survie limité à une dizaine de générations. Le seul choix qui reste ouvert est :

- soit fermer les yeux en pratiquant un « business as usual » jusqu'à la surprise d'une descente obligée en piqué vers une économie du renouvelable
- soit s'obliger subito presto à une sobriété stricte pour une descente en planeur vers cette économie du renouvelable.

Je n'achèterai pas le nouveau smartphone que me propose chaque jour Orange au prix « canon » de 129,90 €

