

L'exploitation des ressources non renouvelables du sous-sol dans une perspective de développement durable : la vision du géologue transdisciplinaire

YANS Johan

Département de Géologie, NaGRIDD
Université de Namur, rue de Bruxelles 61, 5000 Namur
johan.yans@unamur.be

Introduction : le paradoxe des ressources du sous-sol dans un contexte de développement durable

La très grande majorité des objets utilisés de nos jours proviennent (in)directement de matières premières issues du sous-sol, y compris dans le domaine du développement durable : des minerais de lithium (Li) pour les batteries, du néodyme (Nd) pour les aimants des éoliennes, du sélénium (Se) et de l'indium (In) pour les panneaux photovoltaïques, du terbium (Tb) pour les tubes cathodiques,... A ces éléments, il faut ajouter de nombreux minéraux industriels : sable pour fabriquer du verre, matières carbonées pour les résines, par exemple. De plus, l'extraction et le traitement des ressources du sous-sol requièrent environ 10% de la consommation mondiale d'énergie (International Energy Outlook, 2013) associée au charbon, lignite, pétrole, gaz et/ou uranium, autant de matières premières issues du sous-sol. En cette période de transition, l'extraction minière est donc fort sollicitée, y compris pour les énergies et produits renouvelables.

Toutes ces matières géologiques sont « non renouvelables » sur notre planète : leur vitesse de (re)constitution (genèse des gisements, en milliers voire en millions d'années) est évidemment bien supérieure à la vitesse de consommation. Or, la conscientisation publique du caractère fini, sur notre planète, des ressources géologiques est (volontairement ou non) limitée. Cette perception a été assez largement débattue en ce qui concerne le pétrole mais la discussion demeure encore fragmentaire pour les métaux et les minéraux industriels. La demande est pourtant en hausse, surtout dans une perspective *low-carbon society* qui conduirait à une augmentation significative de l'extraction minière (Vidal et al., 2013). Déjà, au cours des dix dernières années, la production de minerai de fer a connu une croissance de 180 %, celle du cobalt de 165 %, celle du lithium de 125 % et celle du charbon de 44 % (Actu-environnement, 2012). Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) estime qu'un scénario *business-as-usual* conduirait à un triplement de l'extraction des ressources globales d'ici 2050. On exploiterait donc davantage de ressources géologiques, par définition « finies »...

La vision des géologues historiens

L'homme a toujours modifié son environnement, y compris pour extraire des matières premières du sous-sol : âges de la pierre (paléo- méso- néolithique), du cuivre (chalcolithique), du bronze, du fer (sidérolithique), constituent autant de périodes définies par des minerais, des techniques et des produits. Les romains, ensuite, démontrèrent une connaissance et des applications approfondies des ressources métalliques dans les limites de leur Empire. Durant la première partie du XX^{ème} siècle, l'activité minière a répondu à une large diversification des demandes en matières premières minérales. On a alors exploité des puits, mines et carrières de taille plutôt modeste, en de très nombreux sites pour la plupart aujourd'hui abandonnés faute de rentabilité. Au début du XXI^{ème} siècle, la valeur des géoressources augmente considérablement. Le cours du cuivre, par exemple, passe d'environ 1.500 EUR/tonne en 2000 à plus de 7.300 EUR/tonne début 2011, pour se maintenir à plus de 5.800 EUR/tonne fin avril 2015. Quantitativement, on extrait du sous-sol 27 fois plus de minéraux qu'il y a un siècle.

Depuis la révolution industrielle, nous serions entrés dans l'*Anthropocène*, une nouvelle ère géologique marquée par l'action de l'Homme. Depuis la révolution industrielle, l'Homme a-t-il

prêté attention aux causes/conséquences durables (environnementales, sociales, politiques et économiques) de ses exploitations ? Contrairement à ce qui est véhiculé dans l'opinion publique et dans une certaine frange scientifique, l'Homme a souvent eu conscience de l'impact de ses progrès techniques : le dérèglement de notre environnement se serait fait en toute connaissance de cause (Bonneuil et Fressoz, 2013) ! Plusieurs secteurs, souvent acteurs, sembleraient cependant tarder à prendre conscience de l'importance du caractère « fini » des ressources géologiques. Dans les milieux géologiques, toutefois, la prise de conscience de ce problème est déjà assez ancienne. Ainsi, dès 1980, lors d'un colloque international tenu à Paris, les géologues reprenaient déjà des citations de 1948. *Aujourd'hui [lire en 1948], la terre nous apparaît petite, elle n'est plus qu'un espace limité dont les ressources sont elles-mêmes limitées. En ce domaine, comme en bien d'autres, l'humanité se trouve donc à un véritable tournant de son histoire. Souhaitons donc que les hommes s'orientent le plus rapidement possible vers une utilisation plus rationnelle, plus pacifique et moins égoïste des matières premières dont la nature les a pourvus.* Et Guillemin (1980) de poursuivre, dans le prologue de ce colloque : *il y a plus de dix ans [lire en 1970], je faisais partie de quelques-uns qui ont pensé que notre civilisation industrielle allait affronter une crise qui devait en changer les paramètres, basés sur une course absurde à la croissance, dans le gaspillage des ressources naturelles. [...] Je crois donc qu'à présent, les responsables politiques sont conscients de la gravité de cette crise, et parfois, hélas, des opportunités qu'elle peut offrir ; mais heureusement, ce colloque est là pour le prouver, nombre de géologues conscients de l'utilité humaine de leur métier, plaident déjà par leurs travaux, pour une gestion plus scientifique et plus juste des ressources du sous-sol.* Ces quelques phrases pourraient constituer l'une des conclusions du présent colloque, en 2015 !

Comment expliquer qu'il ait fallu attendre plusieurs décennies avant de (re)considérer ce problème, pourtant si manifeste ? Le présent article vise à fournir quelques réflexions, de façon à analyser ce (manque de) timing, en mettant l'accent sur une approche transdisciplinaire, à partir de bases monodisciplinaires solides. Il semble nécessaire d'accélérer l'inévitable et souhaitable transition vers un fonctionnement davantage durable des ressources du sous-sol, par définition non renouvelables, et qui, à l'instar de l'eau (autre ressource géologique), doivent être considérées comme des biens communs mondiaux.

Déclin des exploitations minières en Europe

En Europe, la « mine » est perçue dans l'opinion publique comme une technologie du Passé. Le nombre de carrières souterraines en Wallonie a connu une diminution significative : plus de 400 en 1913 et une seule actuellement (Remacle, 2005). On pourrait croire que ces fermetures aideraient à percevoir le caractère « fini » des ressources du sous-sol. Il n'en est rien : ce n'est pas l'épuisement des matières utiles encore exploitables qui explique les fermetures mais plutôt le manque de compétitivité économique et la tendance à créer des mines à l'étranger, dans une vision strictement « locale » des pôles écologiques et sociaux du développement durable. Les pays européens ont en effet exporté les extractions minières au cours du XX^{ème} siècle, vers les Pays du Sud, en particulier leurs colonies (Congo pour la Belgique, surtout Afrique de l'Ouest et du Nord pour la France). Certes, durant les dernières décennies, de nouveaux sites miniers ont été découverts et exploités, mais ils sont surtout basés dans des pays émergents (Chine notamment) ou dans des pays rompus à l'extraction minière (Canada, Australie, USA, Russie, Afrique du Sud). En conséquence, de nombreuses matières géologiques utiles sont aujourd'hui extraites dans des pays éloignés de l'Europe. Les conséquences de l'exploitation, en termes techniques, sociaux et environnementaux, sont loin des préoccupations quotidiennes du citoyen européen : il peut en résulter une certaine méconnaissance du caractère fini des ressources...

Besoin d'une stratégie raisonnée des ressources géologiques wallonnes

A contrario, le sous-sol de la Wallonie contient de très nombreuses carrières à ciel ouvert : on recense environ 160 sites inscrits en zone d'extraction au plan de secteur wallon, exploitant

uniquement des minerais industriels (surtout calcaires, dolomies, sables, grès, argiles et porphyres). Pour une superficie wallonne de 16.844 km², on déduit qu'il existe, en moyenne, une carrière tous les 100 km² (soit dans chaque carré de 10 km de côté). Ce contexte spatial génère inévitablement une certaine proximité des exploitations avec leurs riverains. Cette proximité pourrait attirer l'attention du Public vers le caractère fini des ressources. Mais les riverains sont souvent concernés par les seuls impacts environnementaux de la carrière, sans réellement percevoir les enjeux durables des matières extraites. La perception du caractère fini des matières est alors souvent utilisée dans le seul but de « fermer une carrière », sans critique globale que ce réflexe NIMBY (*Not In My Back Yard*) peut engendrer. Dans cette optique, le besoin urgent d'une prospective et stratégie des ressources du sous-sol wallon (Yans, 2013) contribuera à conscientiser tous les acteurs au caractère fini de la matière géologique, en Wallonie comme ailleurs. Dans sa première stratégie wallonne du développement durable (Service Public de Wallonie, 2013), la Wallonie stipule : *Sur le plan des ressources naturelles, il est bien identifié que des informations sont disponibles de façon extensive dans les travaux relatifs à l'état de l'environnement wallon, mais il n'est pas permis, à l'heure actuelle, d'en dégager les données synthétiques et agrégées que le niveau stratégique du présent exercice nécessite, tels que des seuils à ne pas dépasser dans les prélèvements des ressources naturelles inventoriées, de façon à respecter leur taux de renouvellement.* En ce qui concerne les ressources du sous-sol, le taux de renouvellement est très long, quasiment infini...

La notion de « réserve géologique » pour des minerais évolutifs

La notion de « réserve géologique » contribue à favoriser le leurre de ressources permanentes du sous-sol. Cette notion est très fréquemment utilisée dans les médias et les milieux spécialisés : « *il reste pour 12 années de réserves* » ou encore « *les réserves prouvées seront épuisées dans quelques décennies* ». Or, la notion de minerai et donc de réserves, est, par essence, évolutive. Les minerais d'hier ne sont pas ceux d'aujourd'hui, ni ceux de demain. Dès lors, il est parfois délicat de prévoir une fin pour une ressource géologique, puisqu'un minerai a, par sa consommation (et non par sa production), une vie, une mort et parfois même une résurrection. On prospecte et exploite aujourd'hui des roches pour en extraire des substances qui étaient autrefois sans intérêt économique connu (ex. indium, rhodium, germanium). Le cas échéant, on ré-exploite des stériles (anciens terrils, anciennes haldes) pour y (re)trouver des substances considérées jadis comme inutiles. La durabilité d'un minerai est donc essentiellement économique, voire écologique, mais peu (voire pas du tout) géologique.

La découverte permanente de nouveaux gisements ? Vers des gisements « locaux », y compris en Europe

Peut-on croire en la capacité de la science à trouver, indéfiniment, des solutions aux actuelles et futures pénuries (incuries ?) dans le domaine des ressources du sous-sol ? Cette question technologique se pose pour toutes les étapes associées aux matières premières géologiques : en amont lors de l'exploration, lors de l'exploitation elle-même, en aval lors de la fabrication des produits à partir des minerais et jusqu'à la réhabilitation des sites exploités (cette dernière inclut également la reconversion sociale et économique des régions dont la « richesse » est fondée sur une seule ressource géologique). Certes, les nouveaux gisements et nouvelles techniques plaident en faveur de découvertes permanentes et de technologies illimitées. Les cours du pétrole et du gaz, notamment avec l'exploitation récente de nouveaux gisements non conventionnels de pétrole et gaz de schistes aux USA, sont descendus d'environ 30% par rapport à juin 2014. Fréquemment, de nouveaux gisements de métaux et de matières premières du sous-sol sont découverts dans le monde. Pourquoi, dès lors, s'en inquiéter ? De façon globale, les gisements seront de plus en plus difficiles d'accès, avec des techniques d'extraction toujours plus coûteuses (Malehmir et al., 2013) et des concentrations du minerai toujours plus faibles (Mudd, 2007). De plus, l'Europe utilise aujourd'hui environ 20% des métaux extraits dans le monde mais ne produit que 1,5 % de fer et d'aluminium et 6% de cuivre (Brown et al., 2013). Cette situation est intenable d'un point de vue sécuritaire,

économique et éthique et rend l'industrie européenne très vulnérable (Vidal et al., 2013). Une stratégie se dessine. "La valeur des ressources minérales inexploitées en Europe, à une profondeur de 500 à 1.000 mètres, serait, d'après les estimations, d'environ 100 milliards d'euros. Les nouvelles technologies permettront d'extraire davantage en profondeur, dans des zones plus éloignées et dans des conditions hostiles", indique la Commission européenne (Actu-environnement, 2012).

En Wallonie, un inventaire statique des ressources est déjà disponible pour les *raw materials* (calcaires, dolomies, sables, argiles, grès, porphyres) extraits dans les carrières wallonnes ; il convient aujourd'hui de le compléter par un inventaire dynamique (Yans, 2013). En sus, une démarche similaire doit être envisagée pour les substances métalliques. Rappelons que la Belgique est dotée d'un très riche passé minier : minerais de fer, minerais « calaminaires » plomb-zinc sont autant de ressources métalliques du sous-sol exploitées à travers le temps. De nombreuses études ont caractérisé ces minerais (Dejonghe et al., 1993 ; Heijlen et al., 2001). Plusieurs voix se sont déjà manifestées pour annoncer/confirmer la présence de gisements (notamment de zinc) dans le sous-sol wallon (Goossens, 2014). Rappelons aussi que la Belgique est un pays très performant dans la métallurgie du zinc. D'autres métaux mériteraient également une nouvelle prospection, avec des techniques modernes. Dans cette optique, la France a récemment octroyé plusieurs permis de recherche à deux sociétés privées sur son territoire métropolitain, en vue d'estimer le potentiel minier et, le cas échéant, reprendre une activité minière pour des minerais dits « stratégiques ». Des gisements « locaux », aujourd'hui inexploités, seraient (re)mis en activité. Leur exploitation doit s'accompagner 1) de l'utilisation de nouvelles technologies générant le moins d'impacts environnementaux et sociaux, et 2) d'une autre perception de l'activité extractive de la part de l'opinion publique locale. A ce niveau, depuis quelques années, une stratégie européenne voit le jour, notamment pour la recherche de nouveaux gisements de Terres Rares (éléments chimiques aujourd'hui indispensables dans plusieurs secteurs industriels européens), dont l'exploitation est quasiment monopolisée par la Chine, alors que cette dernière ne détiendrait que 30% des « réserves »...

En cette période de transition, il est évident que des recherches doivent être accrues pour trouver de nouveaux gisements, y compris à proximité immédiate de la demande (marchés), nonobstant le syndrome NIMBY qui, en matières de ressources du sous-sol, est très marqué en Europe. Il apparaît aujourd'hui inconcevable d'importer des fleurs d'Ethiopie, des kiwis de Nouvelle-Zélande, des fraises du Maroc. Pourquoi, dès lors, tolérer l'importation massive en Europe de cuivre de République Démocratique du Congo ou de tungstène de Chine, alors que des gisements potentiels existent mais ne sont pas (plus) exploités, faute de rentabilité économique et/ou de volonté d'extraction par une opinion publique locale très frileuse ?

A l'échelle wallonne, de récentes investigations montrent, en utilisant le Cycle de Vie complet des matières élaborées, que l'utilisation de pierres ornementales belges serait, globalement et à moyen/long terme, très rentable et relativement peu polluante. Par rapport à leurs concurrentes surtout indiennes, vietnamiennes et chinoises, les pierres ornementales belges bénéficient 1) d'un façonnage assez aisé lors d'étapes de fabrication peu nombreuses, 2) d'un circuit court et 3) d'une relative facilité d'entretien. Elles sont en outre aisément recyclables. Ce constat a amené le secteur à proposer un guide pratique présentant les clauses environnementales, éthiques et sociales à insérer dans les cahiers spéciaux des marchés publics d'aménagements (Pierres wallonnes et marchés publics, <http://www.pmw-marchespublics.be>).

Recyclage et besoins en baisse : un défi global dès la période de transition

Le recyclage demeure une voie à favoriser mais ne constitue pas la panacée. Pendant l'actuelle période de transition, une partie non négligeable des matières premières seront en effet séquestrées par des outils durables, et donc non recyclables. Cela est valable pour les métaux « high-tech » (Öhrlund, 2011) mais aussi pour les produits moins « nobles » (Vidal et

al., 2013), appelés régulièrement métaux de base (cuivre, aluminium, etc) et *raw materials* (dolomie, gypse, kaolin, etc). Il est donc vital de mettre en place une réflexion quant aux réels besoins, y compris en ce qui concernent des matières *a priori* abondantes, comme celles entrant dans la fabrication du verre (sables et minéraux industriels), de l'acier (fer), des bétons (argiles, calcaires, abondamment exploités en Wallonie), pour ne prendre que quelques exemples. Il s'agit d'un défi global, dès à présent !

Lenteur et difficultés d'une approche transdisciplinaire de la problématique...

Comme déjà énoncé ci-dessus, les géologues ont, depuis plusieurs décennies, attiré l'attention sur le caractère strictement fini des ressources du sous-sol. Mais ces géologues ont restreint leurs conclusions, évidentes à leurs yeux, à leur cercle assez fermé. Or, la gestion durable des ressources du sous-sol n'a de sens et de solution(s) que dans un contexte résolument transdisciplinaire (Yans, 2013). Il aura fallu attendre l'ère de la transdisciplinarité pour que reviennent, au-devant de la scène, les craintes énoncées dans des colloques purement monodisciplinaires (géologiques). Gageons qu'une partie des recherches futures aillent dans le sens escompté de la transdisciplinarité. Pour ce faire, les bailleurs de fonds doivent être conscients des enjeux sociétaux qui en découlent. Le présent colloque poursuit cet objectif...

... sur des bases monodisciplinaires solides

Gérer durablement les ressources du sous-sol implique la connaissance d'un jargon géologique parfois très rébarbatif et souvent galvaudé. Pour ne prendre qu'un seul thème, les notions suivantes, relatives aux seuls gaz de schistes, doivent être bien comprises et utilisées à bon escient pour envisager une saine prise de décision, dans un constant souci d'une gestion durable : *gas shales, shales gas, coalbed methane, tight gas, proven reserves, (non) conventional gas*, etc. L'approche transdisciplinaire, encouragée ci-dessus, doit donc s'appuyer sur des bases monodisciplinaires solides et un vocabulaire judicieusement utilisé. Nous reprenons ci-dessous deux exemples qui démontrent le réel besoin de fondations monodisciplinaires robustes, avant d'envisager une approche transdisciplinaire.

En France, l'exploration des gaz des schistes est autorisée en 2010 par le ministre d'Etat Borloo. A la suite de pressions d'élus, la France vote en juillet 2011 la loi dite « Jacob », *visant à abroger les permis exclusifs de recherche d'hydrocarbures non conventionnels, et à interdire leur exploration et leur exploitation sur le territoire national*. En réponse, des sociétés privées saisissent le Conseil d'Etat et font valoir une *question prioritaire de constitutionnalité* (QPC). Après un jugement favorable à l'Etat, le ministre de l'écologie, Philippe Martin, affirme le 22 août 2013, *vouloir être le rempart contre les vieilles lunes des marchands du temple du productivisme sans entrave, visant en particulier ceux qui veulent faire du fric-frac dans notre sous-sol pour extraire du gaz de schiste*. Cette gestion très chaotique de la problématique, qui suggère l'interdiction de l'exploration (bien lire « exploration » et non « exploitation »), est le résultat d'une décision prise sur une assise géologique trop peu maîtrisée : les réserves de gaz de schistes en France sont mal connues, leurs qualités et localisations imprécises. Comment, dans ces conditions, envisager des décisions raisonnées et crédibles ? L'approche transdisciplinaire s'avère alors inutile.

A l'inverse, aux USA, le gaz de schistes représente près de 25% de la production de gaz. Plusieurs champs, toutefois, semblent atteindre un « pic de production ». Plusieurs acteurs majeurs ont fortement réduit leurs réserves dites « prouvées ». En Pologne, pays annoncé comme le plus prometteur en Europe, les géants nord-américains Exxon, Talisman et Marathon Oil ont rapidement abandonné leurs travaux car la géologie de la Pologne se révèle *"plus difficile que prévu"* : les ressources polonaises en gaz de schistes se trouvent être enfouies plus profondément que celles exploitées aux Etats-Unis. Les réserves de ces deux pays semblent avoir été surévaluées. Là encore, comment envisager une saine gestion de la problématique, avec des bases géologiques si mal documentées ?

Informier le citoyen et le décideur politique

La gestion durable des ressources géologiques nécessite une information complète de la problématique, notamment à l'attention de l'opinion publique. La toute grande majorité des citoyens ignore les contraintes, enjeux et conséquences de l'exploitation des ressources minérales. Aujourd'hui, la perception se limite très souvent aux implications écologiques de l'extraction, à l'échelle locale, sans appréhender les paramètres économiques, sociaux, politiques et techniques, à l'échelle globale.

En ce domaine, la transdisciplinarité doit aussi s'appuyer sur des bases monodisciplinaires robustes, tout en restant accessible aux exploitants, riverains, scientifiques, décideurs, administratifs et autres citoyens. C'est dans cette optique que se sont tenus les colloques *Which quarry for tomorrow* en mars 2012 à Bruxelles et *Gas shales in Belgium?* (ne pas oublier le point d'interrogation dans le titre du colloque...) en octobre 2013 à Namur. De tels événements, accessibles à tous, s'articulent autour d'intervenants belges et provenant de pays adjacents soumis, en cette matière, à des défis similaires à ceux de la Belgique. Ces colloques s'avèrent constructifs en vue d'évaluer la pertinence de l'exploitation des matières premières du sous-sol. Ainsi, le colloque *Gas shales in Belgium?* conclu-t-il (Yans et al., 2013) : *the gas potential in Belgium is under-explored, knowledge dispersed, reporting to public and authorities unorganised, policy undecided. The opinions emitted so far and widely published in the media are premature: the first molecule of shale gas in Belgium is yet to find.* Comment dès lors prendre des décisions raisonnées, dans un domaine essentiel pour l'avenir énergétique et environnemental de la Wallonie, en ne connaissant pas un minimum la qualité, la quantité et la géométrie de la substance utile ? Dans la foulée, ce colloque a logiquement conduit à des questions au Parlement wallon (pour rappel, le sous-sol est une compétence régionale en Belgique) et la mise sur pieds, au sein même du cabinet ministériel compétent, d'un groupe de travail mandaté pour envisager la pertinence, sur des bases géologiques solides, de l'exploitation du gaz de schistes mais surtout du gaz de houille. Des études géologiques détaillées des roches concernées ont été récemment publiées (Nyhuis et al., 2014) et jettent les premiers jalons d'une caractérisation crédible du réel potentiel en gaz de schistes en Belgique.

Il est ainsi du devoir des universités, centres de recherche, administrations concernées et médias, de rassembler les acteurs et d'instruire en dressant un spectre complet des paramètres, de façon strictement factuelle. Le citoyen est demandeur, le décideur politique aussi. Pour prendre des décisions crédibles (et rentables politiquement), il est nécessaire de s'appuyer sur des arguments transdisciplinaires raisonnés et des bases monodisciplinaires solides. Les matières premières du sous-sol, par définition limitées, doivent être extraites dans un constant souci de développement durable. Le constat n'est pas neuf pour les géologues...

Références

- Actu-environnement (2012). <http://www.actu-environnement.com/ae/news/industrie-mines-minerai-terres-rares-fossiles-15084.php4> (consulté le 02 mai 2015).
- Bonneuil C., Fressoz J.-B. (2013). L'Événement Anthropocène. La Terre, l'histoire et nous. Ed. Seuil. 320 p.
- Brown T. J., Shaw R.A., Bide T., Petavratzi E., Raycraft E.R., Walters A.S. (2013). World Mineral Production 2007–11. British Geological Survey, 76 p.
- Dejonghe L., Ladeuze F., Jans D. (1993). Atlas des gisements plomb-zincifères du Synclinorium de Verviers (Est de la Belgique). Mémoire pour servir à l'explication des Cartes géologiques de la Belgique, 33, 1-483, Bruxelles.
- Goossens P.J. (2014). Zinc potential in Eastern Belgium. *European Geologist* 37, 7-11.
- Guillemin C. (1980). Prologue. In : Ressources minérales. Mémoires du BRGM n° 106. 165 p.
- Heijlen W., Muchez P., Banks D.A. (2001). Origin and evolution of high-salinity, Zn-Pb mineralizing fluids in the Variscides of Belgium. *Mineralium Deposita* 36(2), 165-176.

- International Energy Outlook (2013). US Energy Information Administration, 2013; <http://go.nature.com/Vv1J4x> (consulté le 29 novembre 2014).
- Malehmir A., Durrheim R., Bellefleur G., Urosevic M., Juhlin C., White D.-J., Milkereit B., Campbell G. (2012). Seismic methods in mineral exploration and mine planning: A general overview of past and present case histories and a look into the future. *Geophysics* 77/5, P WC173-WC190. 10.1190/GEO2012-0028.1.
- Mudd. G.M. (2007). An Assessment of the Sustainability of the Mining Industry in Australia. *Australian Journal of Multi-disciplinary Engineering*, 5, 1, 1-12.
- Nyhuis C., Rippen D., Denayer J. (2014). Facies characterization of organic-rich mudstones from the Chokier Formation (lower Namurian), south Belgium. *Geologica Belgica* 17/3-4, 311-322.
- Öhrlund, I. (2011). Science and Technology Options Assessment: Future Metal Demand from Photovoltaic Cells and Wind Turbines (European Parliament); <http://go.nature.com/VUOs7V>
- Pierres wallonnes et marchés publics. Pierres et Marbres de Wallonie. http://www.pmw-marchespublics.be/stylesheets/images/folder/PMW-circulaire_marcourt.pdf (consulté le 02 mai 2015).
- Remacle A. (2005). L'inventaire des carrières de Wallonie (Belgique) : présentation générale et aspects entomologiques. *Notes fauniques de Gembloux* 57, 73-79.
- Service Public de Wallonie (2013). Première stratégie wallonne de développement durable. http://www.wallonie.be/sites/wallonie/files/pages/fichiers/1ere_strat_dd.pdf (consulté le 2 mai 2015).
- Vidal O., Goffé B., Arndt N. (2013). Metals for a low-carbon society. *Nature Geosciences* 6, 8894-896.
- Yans J. (2013). Gestion durable des ressources minérales wallonnes : pistes de réflexion en vue d'une meilleure intégration de la problématique. Actes du 1^{er} Congrès interdisciplinaire du développement durable. Thème 1 : Biens communs mondiaux, p.195-206.
- Yans J. (2014). Actions et pistes de réflexion en vue d'une meilleure gestion durable des ressources minérales wallonnes (Belgique). 13^{ème} entretiens Jacques Cartier. L'industrie minière et le développement durable : une perspective francophone. Québec, 19-20 novembre 2014. <http://www.centrejacquescartier.com/les-entretiens/programme-2014/>
- Yans J., Dusar M., Swennen R., Delcambre R., Cornet C., Rippen D., Goemaere E. (2013). Gas shales in Belgium? *Proceedings. Namur, 2013*. 45 p. ISBN 978-2-9601402-1-7.
-