

La comptabilité exergétique, un complément à l'analyse de la valeur

Richard Berthiaume ing. M.Sc.
Formateur en analyse exergétique
courriel: gorse@total.net
© 2007

Introduction

L'essor de notre civilisation et le bien être que notre société nous apporte dépend de l'utilisation des ressources matérielles et énergétiques. L'énergie est nécessaire, entre autres, à la climatisation et au chauffage des bâtiments, aux transports et à l'agriculture. La matière sert à la construction des infrastructures, aux équipements industriels et à tous les équipements qui permettent à notre économie de fonctionner. Pour associer une valeur à toutes ces formes que prennent la matière et l'énergie on utilise la monnaie malgré le fait que l'équivalent monétaire d'un bien varie avec le temps. L'évolution du Huard par rapport à la devise américaine est un bel exemple de cette variation de la valeur de la monnaie.

L'activité économique nécessite des échanges continus de matière et d'énergie, transformés ou sous leur forme première, ainsi que des échanges monétaires. Avec tous ces échanges il devient difficile de déterminer les meilleurs choix économiques à long terme. Cette difficulté est rencontrée autant à l'échelle des biens d'une personne qu'à toute l'économie d'un pays. Par exemple, l'exploitation des ressources non-renouvelables au Canada nous apporte actuellement un gain économique, mais qu'en sera-t-il dans quinze ou vingt ans? Que vaudra ce que nous aurons obtenu en échange? Quel sera alors l'état de notre environnement et de nos ressources? L'analyse exergétique permet de tracer un portrait de l'utilisation des ressources par une société et de faire le lien entre les ressources premières et les utilisations finales. Rosen (1992) a effectué ce type d'étude à l'échelle du Canada pour certaines ressources.

Les quelques pages qui suivent décrivent une méthode qui permet de mesurer la valeur. La comptabilité exergétique permet, en effet, de mesurer la valeur de la matière et de l'énergie. Cette méthode prend origine non pas des sciences de l'économie mais des sciences pures et appliquées. Cette origine, totalement indépendante des sciences économiques, en font un indicateur de choix pour apporter un point de vue totalement nouveau à l'analyse de la valeur. Un court rappel sur l'analyse exergétique est présenté pour initier la réflexion et trois avenues possibles combinant l'analyse exergétique et l'analyse économique sont sommairement commentées.

L'analyse exergétique

L'exergie permet de mesurer la valeur intrinsèque de la matière et de l'énergie. Cette valeur permet d'estimer le travail qui peut être tiré de la matière ou de l'énergie. La comptabilité exergétique permet de quantifier tout ce qui a été consommé pour produire de la matière ou de l'énergie sous les formes commerciales (ex : acier, diesel, plastique etc.). Elle mesure tout le travail potentiel perdu au cours de la fabrication d'un bien. En simplifiant à l'extrême, l'exergie mesure ce que vaut un bien et la comptabilité

exergétique évalue ce qu'il en coûte pour produire un bien; la valeur et le coût étant mesurés en unités travail.

En exergie, la valeur d'un objet tient à une forme d'utilité fonctionnelle très précise qui est le travail (au sens physique du terme). Tout ce qui est matière et énergie peut être quantifié par son potentiel à accomplir du travail. L'exergie est donc une mesure physique d'une utilité fonctionnelle très précise, c'est ce qui en fait un paramètre intéressant pour l'analyse de la valeur.

La comptabilité exergétique apporte une autre mesure de la valeur basée sur des principes indépendants de ceux pris en considération à ce jour. Cette indépendance de la variable exergie introduit une information complémentaire à l'analyse de la valeur. Les trois cas décrit plus loin illustrent l'utilité potentielle de l'analyse exergétique.

Il importe de noter que la comptabilité exergétique est un domaine en pleine évolution et que les résultats des études dépendent de l'hypothèse choisie par les chercheurs, les résultats obtenus doivent donc être interprétés. Les trois cas présentés ici servent à illustrer le potentiel de la méthode de comptabilité exergétique et les situations qui peuvent survenir, ils constituent des pistes de réflexion et non pas des conclusions finales.

Trois études de cas à consommation des ressources élevée.

Cas 1 : Exergie et études économiques donnent un résultat similaire négatif

Il s'agit de projets qui n'ont pas de bénéfices économiques ni exergétiques. Ces types de projets, s'il sont fondés sur de grandes consommations de matière et d'énergie, peuvent conduire la société à un épuisement tant économique que de ses ressources. Si ni l'économie, ni l'exergie ne les justifient, il appartient à la société de justifier leur mise en œuvre pour d'autres motifs.

L'exemple qui illustre bien ce cas est l'éthanol produit à partir du maïs pour produire des biocarburants (Pimentel, D. (2003), Berthiaume *et al.*, (2001), Yang *et al.* (2007)). Il faut par contre noter que l'analyse d'autres bio-carburants ou d'autres procédés de fabrications pourraient conduire à des conclusions différentes. La production d'éthanol pour son utilisation dans les voitures comme carburant a fait l'objet de nombreuses études. Cette production doit être subventionnée pour qu'elle puisse voir le jour (Pimentel, D. (2003), Yang *et al.* (2007)) il apparaît donc évident qu'elle n'est pas rentable du point de vue économique. Cet éthanol coûte plus cher à produire que sa valeur marchande. Les études (Berthiaume *et al.* (2001), Yang *et al.* (2007)) effectuées en comptabilité exergétique concluent, selon des hypothèses de travail précises, que la fabrication de ce carburant consomme plus d'exergie au cours de sa fabrication que ce que l'on peut en tirer en bout de ligne comme travail dans un moteur à combustion. Cela signifie que si l'on comptabilise, en utilisant la valeur exergie, toutes les ressources utilisées pour produire l'éthanol et la dégradation de l'environnement, on conclut que cela constitue une perte d'exergie pour la société. Ainsi, selon les hypothèses de ces études, l'implantation et l'utilisation de l'éthanol constituerait pour notre société un

investissement à rendement négatif tant du point de vue des ressources physiques (évalué par comptabilité exergetique) que du point de vue économique.

Cas 2 : Exergie et études économiques donnent un résultat différent : économie positif et exergie négatif

Il s'agit de projets qui apportent un gain économique et une perte d'exergie. Pour une société comme la nôtre où une grande partie de la matière et de l'énergie consommée proviennent de l'exploitation de ressources non renouvelables, il y a toujours consommation d'exergie. Par le fait même, le bilan d'exergie global est toujours négatif. Nous avons moins d'exergie à la sortie de nos procédés qu'à l'entrée. Cette transformation résulte en un gain économique car ce qui sort de nos processus a plus de valeur économique, ou plus d'utilité que la matière ou l'énergie première.

Il faut alors pousser plus loin la réflexion et se demander, pour un projet donné, quelle est la consommation d'exergie en fonction du gain économique ou social? À priori, il faut maximiser les gains économiques et sociaux à partir d'une faible consommation d'exergie.

L'exploitation des ressources fossiles au Canada, et l'orientation que notre société semble vouloir se donner, permet d'illustrer non seulement un cas où il y a gain économique et perte d'exergie mais aussi un cas où la consommation d'exergie requise pour le même produit final augmente. Historiquement le pétrole et le gaz naturel produit au Canada provenaient de sources dites conventionnelles, en simplifiant à l'extrême on forait le sol et il en sortait un produit qui pouvait être acheminé directement aux usines de raffinage ou au réseau de gaz. La consommation d'exergie pour exploiter ces ressources était relativement faible comparativement à la valeur exergetique du gaz naturel produit ou du pétrole brut produit. Ces sources d'énergies fossiles, dites conventionnelles, se tarissent et le Canada doit se tourner de plus en plus vers des sources dites « non-conventionnelles » comme le pétrole synthétique provenant des sables bitumineux ou l'importation de gaz naturel liquéfié. Même si l'utilisateur du gaz naturel ou de l'essence ou du diesel « voit » toujours le même produit, la consommation d'exergie requise pour le produire devient plus élevée. Il est courant d'entendre que l'économie Canadienne se porte bien, en fait ce serait plutôt l'équilibre économique actuel de l'économie Canadienne qui se porte bien, car dans les faits cette économie reposera de plus en plus sur une consommation d'exergie élevée. Ce coût exergetique se reflète dans les prix de l'énergie. Ce n'est certainement pas le seul facteur qui induit une hausse des prix de l'énergie mais la rareté des ressources implique souvent une consommation d'exergie élevée. Il faut plus de travail pour extraire une ressource raréfiée et la rendre disponible à la société. Cette consommation d'exergie d'un procédé peut donc être une indication de sa viabilité économique à long terme ou à très long terme.

Cas 3 : Exergie et études économiques donnent un résultat similaire positif

Il s'agit de projets qui apportent à la fois un gain exergetique et un gain économique. Par exemple, certains projets hydroélectriques génèrent plus l'exergie pendant leur vie utile

que toute l'exergie qui a été consommée pour leur mise en œuvre et leur entretien (Berthiaume et al., 2001). Comme il a été mentionné plus haut, cette conclusion est fonction de l'hypothèse de départ, par exemple dans cette étude nous n'avons pas inclus les pertes d'exergie liés à la partie submergée suite à la mise en eau du barrage. En effet, la partie de sol submergée ne « produit » plus la même exergie en termes de biomasse. De plus, l'entretien du barrage n'a pas été considéré. Malgré ces réserves qui inciterait à pousser l'analyse plus loin, la valeur obtenue dans ce cas démontre un potentiel de gain exergétique élevé i.e. l'exergie produite dépasse considérable celle nécessaire à la construction du barrage.

Un cas où l'utilisation de la comptabilité exergétique aurait été très utile est le cas de la production d'électricité à partir d'éoliennes. En effet, les éoliennes produisent-elles une énergie renouvelable? L'exergie produite au cours de leur vie utile dépasse-t-elle l'exergie consommée pour leur mise en œuvre et leur entretien? Seule la comptabilité exergétique permettrait de fournir des réponses à cette question.

Analyse

Les analyses exergétiques permettent d'évaluer l'effet des choix de procédés sur la consommation d'exergie pour produire un bien ou un service, des exemples de telles variations ont été étudiées en comptabilité exergétique (Berthiaume et al (2001), Yang et al.(2007). La comptabilité exergétique peut donc apporter une mesure de la valeur thermodynamique de nos choix de société. Il est intéressant de constater que la consommation d'exergie dépend des procédés et de la nature des ressources exploitées alors que la valeur économique est dépendante du marché.

L'exergie est une mesure du travail potentiel de la matière et de l'énergie. Notre société repose sur la transformation de la matière et de l'énergie. Les projets de société qui reposent sur une grande consommation de ressources et dont la comptabilité exergétique révèle une grande consommation d'exergie ont peu de chance d'être viables et profitables à long terme. En ayant la capacité d'évaluer la dégradation des ressources liée à nos choix de société nous avons la possibilité d'orienter notre développement vers une économie forte à long terme. Par exemple, avec la raréfaction des ressources fossiles une forme d'énergie renouvelable comme l'hydroélectricité a le potentiel pour augmenter en valeur avec le temps alors que l'exploitation des ressources fossiles non-conventionnelles aurait, à long terme, un avenir moins certain. En effet, le passage de l'utilisation de ressources fossiles « conventionnelles » vers des ressources « non-conventionnelles » pose un défi de taille car cela entraîne des coûts plus élevés et une consommation accrue d'exergie pour une même utilité finale. Hormis les considérations politiques, les gisements les plus faciles à exploiter l'ont été en premier, l'exploitation des gisements moins accessibles ou de moindre qualité coûteront plus chers à exploiter.

Conclusion

L'analyse exergetique apporte un point de vue indépendant de l'analyse de la valeur basé sur une analyse physique des ressources que nous utilisons. La comptabilité exergetique fourni une mesure de comparaison des différents procédés qui transforment matière et énergie sous des formes utiles à la société. La comptabilité exergetique permet une mesure de la valeur thermodynamique de nos choix de société qui est complémentaire à l'analyse de la valeur.

Références et bibliographie

Berthiaume,R. Bouchard.C, Rosen, M. *Exergetic evaluation of the renewability of a biofuel*, Exergy, an international journal, 1(4) 2001, 256-268

Pimentel, D. *Ethanol Fuels : Energy Balance, Economics, and environmental Impacts are Negative*, Natural resources research, Vol.12, No.2, June 2003

Office national de l'énergie, *Perspectives à court terme du gaz naturel et des liquides de gaz naturel jusqu'en 2006*, évaluation du marché de l'énergie, Octobre 2005

Office National de l'énergie, *Canada's Oil Sands : Opportunities and Challenges to 2015*, an energy market assesment, may 2004

Westervelt, E.T., Founier, D.F., *Energy trends and their Implications for U.S. Army Installations*, US army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center. September 2005.

Rosen, M. A., *Evaluation of energy utilisation efficiency in Canada using energy and exergy analysis*, Energy vol. 17, No. 4. (1992), pp. 339-350

Yang, Q. et al., *Exergetic evaluation of corn-ethanol production in China*, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation (2007), doi: 10.1016/j.cnsns.2007.08.011 (n.b. référence à un manuscrit accepté pour publication).

Sur le WEB cherchez : Exergy