



Quelques aspects inattendus de la pollution

Introduction

De nouveaux problèmes de pollution se posent mais on finit par trouver des solutions. Les déplacements, à la fin du XX^e et au début du XXI^e siècle sont une source inépuisable de pollutions. L'information et la communication ont pris une part croissante dans le bilan global de nos activités : elles sont également une source importante de pollution qu'il faudrait chercher à maîtriser.

1 - Premier principe de la thermodynamique

Énergie = travail + chaleur.
Le premier principe de la thermodynamique (énoncé après le second) pose que l'énergie se conserve. Alors pourquoi faudrait-il l'économiser ?

2 - Deuxième principe de la thermodynamique

L'entropie caractérise la répartition de l'énergie entre travail et chaleur. Ce mot vient du grec (retour en arrière, dégradation). On transforme facilement (sans taxes) le travail (mécanique, électrique...) en chaleur mais plus difficilement (et avec taxes) la chaleur en travail. Ainsi, lors du freinage on transforme de l'énergie mécanique en chaleur. Mais essayez de faire avancer votre voiture en chauffant les freins... Ainsi, quand on utilise l'énergie, elle se dégrade. L'homme, qui utilise l'énergie solaire actuelle, est aussi un grand prédateur de l'énergie accumulée (l'énergie fossile). Aucun processus, énergétique, humain, économique, ne peut se faire sans dégradation d'énergie quelque part dans l'univers. Conclusion : l'homme ne peut se développer et produire que si l'entropie dans le milieu extérieur augmente[1]. Tout métabolisme produit des déchets et de l'entropie. La dégradation de l'environnement est un risque permanent pour la

survie d'un système ouvert[2].

Le mouvement irréversible de l'entropie signifie tout simplement que le « prix payé » pour une transformation non idéale est toujours supérieur, jamais inférieur, à « son juste prix »[3].

Mais justement ce qui n'était qu'une sorte de métaphore peut s'appliquer désormais au sens propre. L'entropie revêt un nouvel aspect, qui prend la forme de l'information : il y a un prix à payer pour la dépense de l'information, qui n'est pas seulement son coût affiché. En effet, l'économie se dématérialise :

- dans un baril de lessive, la matière première, sa transformation, l'amortissement des usines et les salaires des employés n'atteignent pas 10 % de son prix de vente ;
- lors de la mise au point d'un médicament, la partie chimie et biochimie intervient pour environ 10 %.

On en déduit que la communication et l'information, ces données immatérielles, prennent une part croissante dans l'économie et, par conséquences, qu'elles ont des comptes à rendre au même titre que la production. L'entropie créée par la communication devient extrêmement déstabilisante dans nos sociétés (cf. ci-dessous les remarques sur la catastrophe de l'Erika).

Note

Voici quelques savants qui ont participé à l'élaboration des deux principes de la thermodynamique :

- Sadi Carnot est reçu à seize ans à l'école Polytechnique en 1812 et, en 1824 (à 28 ans), il présente son seul ouvrage : *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*. C'est le second principe de la thermodynamique, qui a donc été formulé avant le premier. Mais trop imprécis et avec peu de définitions, il n'a pas été compris.
- Joule (1818-1889) pose le premier principe.
- Thomson (lord Kelvin) et Clausius entrent en compétition et c'est l'Allemand Clausius qui triomphe en énonçant les deux principes de la thermodynamique.
- Gibbs (un mathématicien américain) a théorisé une grande partie de la thermodynamique.
- Comment ne pas citer Pierre Duhem qui a été professeur au Lycée de Rennes lui aussi et, comme Carnot, incompris par ses pairs ? Heureusement, il reste des formules à son nom : Gibbs-Duhem, Duhem-Margulès...
- L'histoire continue : de Donder au début du siècle à Prigogine (encore vivant) qui travaille sur les systèmes ouverts.

3 - Une autre manière de présenter l'entropie : doit-on avoir peur du désordre ?

L'entropie, c'est la tendance statistique au désordre. Pour un système isolé l'entropie augmente. Pour tout système, le désordre s'accroît. Mais attention ! Le désordre est également créateur.

Par exemple, la tendance au désordre est à l'origine de la formation des structures des protéines (quaternaires, tertiaires...), car le repliement et l'enchevêtrement des brins hélicoïdaux contribuent à augmenter le désordre dans l'environnement (les parties hydrophobes des protéines ont naturellement tendance à rester enfouies à l'intérieur des protéines afin d'éviter le contact avec les molécules d'eau, ce qui limite la structuration de ces molécules).

L'enseignement fondamental du second principe est que toute transformation spontanée est une transformation qui augmente l'entropie de l'Univers. Mais, par couplage entre deux réactions, on peut faire évoluer l'une d'entre elles dans le sens inverse du sens naturel ; l'autre transformation parvient à créer assez de désordre pour qu'au total le désordre de l'Univers augmente[4].

Remarque : Au début du siècle, le second principe était considéré comme fondamental à tel point que l'on pensait que sa principale conséquence était que la variable temps ne se déroule que dans un sens. Actuellement, Prigogine pense que le temps, la durée qui ne s'écoule que dans un sens, est la variable fondamentale.

4 - L'histoire du pot catalytique

Les solutions proposées par l'écologie sont indissociables de leur coût. Autrement dit, et à nouveau au sens économique : quel prix accepte-t-on de payer pour avoir une « industrie propre », des « voitures propres »[5]... ?

La Californie est un pays béni des dieux, mais les cow-boys sont devenus automobilistes et le sont restés lorsqu'ils sont passés au statut d'informaticien. À Los Angeles, en été, l'océan Pacifique apporte une brume rafraîchissante. Cependant, cette brume rafraîchissante est parfois irrespirable, car s'y ajoutent les fumées des centrales électriques et des gaz d'échappement : la brume devient *smog*.

Les habitants se sont posé le problème en ces termes :

- Consommons moins d'électricité (mais alors : et la climatisation[6] ?)

- Réduisons la circulation automobile (mais comment se priver de sa voiture climatisée en Californie ?).

En somme, il faudrait modifier la technique sans toucher à notre mode de vie.

D'où, pour l'électricité quelques centrales nucléaires (pas trop), le gaz naturel (mais il produit toujours du CO₂) et quelques éoliennes. Mais pour l'automobile, il va falloir la rendre propre.

Un moteur laisse échapper des gaz à la sortie du tuyau d'échappement : SO₂, CO, NO_x et HC (hydrocarbure imbrûlés), et en plus des particules solides pour les moteurs diesel.

On demande donc aux chimistes de transformer, en temps réel, ces molécules en gaz inoffensifs : c'est un véritable défi. Pour accélérer un processus chimique, la bonne solution c'est le catalyseur. Trois métaux se plient aux exigences contradictoires qui sont requises, le platine, le palladium et le rhodium (sources : Russie et Afrique du Sud). La surface du catalyseur doit atteindre un hectare dans le pot catalytique (il faut environ 1g de métal par litre de cylindrée) et il doit être déposé sur une céramique.

Miracle économique pour les USA : la céramique est fabriquée par Corning Glass et le film métallique par Allied Signal. Un formidable marché s'ouvre à eux, si le pot catalytique devient obligatoire.

Mais les chimistes préviennent : le convertisseur catalytique ne supporte pas le plomb. Il va falloir enlever le plomb de l'essence. Alors les raffineurs s'affolent^[7] : si l'on enlève le plomb tétraéthyle, l'indice d'octane va baisser et les soupapes cliqueter. Il va donc falloir trouver un substitut et modifier les procédés de raffinage, ce qui va rendre l'essence plus chère et obliger les compagnies à modifier ou construire de nouvelles unités. Moyennant quelques primes, les raffineurs s'exécutent et, dès 1970, on trouve de l'essence sans plomb en Californie.

Dernière petite difficulté : la catalyse ne fonctionne bien qu'avec un moteur à injection. Pas de problème : pour l'injection électronique, on trouve les chercheurs nécessaires dans la Silicon Valley.

Dès 1975 la « voiture propre » est sur les rails. Puis les Japonais copient les Californiens, et les Scandinaves emboîtent le pas. Les Allemands suivent, ce qui est étonnant. En effet, ils avaient essayé un système plus simple et surtout quatre fois moins cher. Mais ils vont très vite abandonner leur idée de pot catalytique « pas cher », car c'est Bosch qui fournit toute l'électronique des systèmes à injection.

Cependant, en Europe, trois pays, la Grande-Bretagne, l'Italie et la France font de la résistance, car le surcoût du pot catalytique est de 10 % sur les petites voitures qui sont très répandues dans ces pays.

En France, l'opposant le plus farouche est Jacques Calvet, le PDG de Peugeot. En effet, les chercheurs de la firme (les Anglais aussi) se sont attelés à la mise au point d'un moteur dit « à mélange pauvre » qui, consommant deux fois moins de carburant, est moins polluant par nature. De plus, la Commission de Bruxelles n'a pas à imposer de procédé (le pot catalytique) mais seulement des normes d'émission pour les gaz d'échappement ; les premières normes sont fixées en 1985. Elles ont été âprement discutées par la bande des trois (Grande-Bretagne, Italie, France), dont Huguette Bouchardeau pour la France et député de... Montbéliard. Les constructeurs ont toute latitude pour trouver un procédé qui satisfait aux normes. Malheureusement, le moteur à mélange pauvre n'est pas au point alors que le catalyseur fonctionne depuis 20 ans.

En mars 1989 (pour ceux qui ne se le rappellent plus, le ministre « vert » est alors Brice Lalonde), Jacques Calvet annonce fièrement, au salon de Genève, la mise au point d'un « moteur propre » qui consomme 12 % de moins et qui respecte des normes d'émissions de polluants beaucoup plus basses que celles de 1985.

Mais, catastrophe, quelques semaines plus tard, la commission de Bruxelles annonce son intention de durcir les normes de 1985. Pour Peugeot, le moteur pauvre, c'est fini. Le pot catalytique a définitivement gagné.

Quels sont les résultats sur la qualité de l'air après l'utilisation du pot catalytique ?

Des progrès importants ont été obtenus :

et les normes vont être durcies (c'est toujours l'occasion d'âpres négociations) :

Pourtant, le pot catalytique a-t-il toutes les vertus ?

- Il entraîne une surconsommation d'énergie d'environ 5 %.
- La vitesse des réactions chimiques, et donc l'efficacité du pot, est liée à la température des gaz d'échappement à l'entrée du pot : il faut un temps d'amorçage de plusieurs minutes avant que ne commencent les réactions catalytiques. Or 80 % des trajets sont inférieurs à 8 km. Autrement dit, pour beaucoup de nos collègues, le catalyseur commence à fonctionner à l'entrée du

portail du Lycée.

- Le pot catalytique a imposé de remplacer le plomb tétraéthyle par le MTBE (méthyltertiobutylether soit $(CH_3-O-C(CH_3)_3)$, car aucun conducteur n'accepte de voir le rendement de son moteur plus mauvais après qu'avant. On se demande toujours si ce MTBE ne serait pas cancérigène. Ce qui est certain c'est que l'an dernier, on a commencé, après 30 ans de bons et loyaux services, à réformer d'anciennes stations à essence en Californie (pour y installer une nurserie, un parc...). Et là, catastrophe : le MTBE (c'est un éther) s'évapore, se mélange à l'eau, pénètre dans le sol et pollue les sources : finalement on a remplacé une pollution par une autre.

- Les pots catalytiques ont fait négliger l'importance des émissions de CO₂ qui ne sont pas prises en compte.



- Les pots catalytiques nécessitent une essence plus raffinée, mais, afin de ne pas être obligé de pousser le raffinage trop loin (en réalité trop cher), on n'a pas changé et on a même augmenté la quantité d'aromatiques dans l'essence et le fioul. Jusqu'à décembre 1999, alors que les grandes sociétés pétrolières fournissaient de l'essence avec seulement 1 % de benzène, les grandes surfaces allaient allégrement jusqu'au maximum autorisé soit 8 %. Votre essence contient donc jusqu'à 42 % d'aromatiques (autant que dans le fioul de l'Erika) et vous les respirez abondamment lors de chaque plein.

5 - Quel avenir pour nos chères voitures ?

Après la grande crise des années 1970, où est apparu crûment le fait que nous consommons de l'énergie accumulée il y a longtemps et donc périssable, les spécialistes ont cherché et trouvé de nouveaux gisements.



Vous constatez que depuis le début des années 1990, après la consommation de l'année, les réserves sont toujours les mêmes, ce qui devrait nous rassurer... Et encore ne sont pas comptabilisés les énormes gisements contenus au fond des océans (équivalents à la totalité de ce qui est connu en pétrole, gaz naturel et charbon).

Mais une nouvelle inquiétude se fait jour, à propos de la couche de CO₂. Quand on brûle du charbon, du pétrole, du gaz naturel pour obtenir de l'énergie, on augmente la couche de gaz carbonique. Ceci n'est pas (ou beaucoup moins) le cas

lorsqu'on brûle du bois ou que l'on met de l'ester de colza dans le fioul pour voiture. Car, dans ce cas, les arbres et le colza ont consommé du gaz carbonique de l'atmosphère pour se développer, ce qui fait un bilan presque nul pour l'atmosphère.

Regardons l'évolution possible du parc automobile mondial pour les années 2020 et 2060.



Même en tenant compte d'hypothèses très modestes de taux de motorisation des ménages, la croissance démographique conduit à la multiplication par six du parc automobile mondial, l'essentiel de cette augmentation se produisant dans les pays du Sud.

D'ici 20 à 30 ans, la Chine va multiplier par quatre sa consommation d'énergie et donc ses rejets de CO₂. Dans le même laps de temps, l'Indonésie, la Thaïlande et la Malaisie vont multiplier les leurs par huit[8].

Il est question d'instituer des permis de polluer (payants) ce qui est sans doute une bonne idée et aussi de taxer les émissions de gaz carbonique. Il faut savoir que l'on aura du mal à imposer aux pays pauvres des mesures drastiques et donc onéreuses quand les plus grands pollueurs refusent quasiment tout effort.

Voici les évolutions actuellement prévues :

Les solutions sont à l'étude :

- voitures consommant moins de 3 litres au 100 km (mais un litre à 20 F sans doute) ;
- voitures bi-énergie pouvant fonctionner à l'électricité en ville ;
- moteurs électriques avec pile à combustible (malheureusement les piles fonctionnant actuellement rejettent du CO₂) ;
- remplacement du diesel par le diester (énergie renouvelable).

L'idéal, mais pourquoi ne pas rêver : l'utilisation directe de l'énergie solaire, la photolyse de l'eau[9]. Il reste encore de magnifiques défis à relever par les futurs ingénieurs.

L'environnement est passé progressivement d'une préoccupation culturelle, sociale à une préoccupation économique puis industrielle et de ce point de vue, même s'il y a parfois des dérapages, nous pouvons dire merci aux écologistes. En moins de trente ans, des progrès considérables ont été réalisés : le lac d'Annecy a retrouvé ses ombles chevaliers et, dans certaines villes industrielles européennes,

la pollution de l'air est trois à cinq fois plus faible qu'il y a un siècle.

6 - Digression sur la catastrophe de l'Erika

Une première question qui semble ne pas avoir été posée : pourquoi transportait-on ce fioul vers l'Italie ? Depuis la grande crise pétrolière des années 1970, l'utilisation des produits raffinés s'est considérablement modifiée, surtout en France. Le parc nucléaire augmentant a imposé à EDF de ne plus utiliser de fuel lourd dans ses centrales thermiques. Or ce fuel lourd est un résidu obligé de toute raffinerie. Comme seuls les produits légers ont une forte valeur ajoutée, les raffineurs se sont mis à tout craquer afin de mieux exploiter le pétrole (résidus de distillation sous vide, visco-réduction...)[10]. Lors du craquage, il se forme divers résidus et le fioul n° 2 des années 2000 n'a rien à voir avec un fioul n° 2 d'il y a 30 ans. Comme EDF ne consomme plus de ce fioul, il faut bien le vendre à des pays moins équipés en centrales nucléaires et peut-être moins regardants sur la pollution. Ce fioul est donc brûlé afin de produire de l'électricité. Notons au passage que les anciennes raffineries françaises produisent un fioul qu'elles exportent au Brésil car il n'est pas conforme aux normes actuelles de Bruxelles (faut-il détruire ces installations relativement récentes ?). Le transport d'essence et de fioul de la France au Brésil coûte environ 0,01 F/litre ce qui est négligeable par rapport au prix hors taxes du produit (1,80 F) soit 0,5 % pour le transport. Mais, 1 centime/litre c'est énorme pour un pétrolier.

Une polémique s'est instaurée sur :

- la composition du fioul de l'Erika ;
- un mensonge supposé de Total sur la norme fioul n° 2.

Que répondre sur ces deux points ?

Analytica, un laboratoire dit « indépendant » (mais qui a des moyens très importants) a publié des analyses tout à fait exactes sur la composition d'un fioul de l'Erika pour une date donnée. Mais il faut savoir que ce produit n'est pas stabilisé : il évolue. Ainsi, quand on a essayé de le mettre dans le bitume pour s'en débarrasser, il a fallu racler les routes en été car ce bitume coulait : actuellement il semble qu'il ne faut pas dépasser 10 % de ce produit dans le bitume.

L'autre aspect de la polémique concerne la norme du fioul n° 2 (un fioul n° 2 est défini par sa viscosité, sa température d'inflammation et en aucun cas par son spectre, c'est-à-dire sa composition). Laisser croire que Total a menti sur ce point me semble une calomnie. À ce propos, il est intéressant de se pencher sur l'activité

débordante sur internet. Plusieurs parmi nous ont reçu des mails sur ce thème :

- Dans le premier de ces mails il y avait la polémique lancée par Analytica et cette polémique n'est toujours pas retombée sur la dénomination « fioul n° 2 ». Et, par internet, les nouvelles s'amplifient, se déforment et vont très vite.
- Dans la seconde série de mails, il y avait toute une correspondance de courriers électroniques internes estampillés TOTAL. Tous ces mails étaient, soit-disant, des copies de mails échangé entre des ingénieurs et cadres de chez TOTAL. Récemment on a su que ces mails étaient des faux habilement imités.

Que dire aussi de la communication par la presse et par le ministère de l'environnement sur l'aspect cancérigène de ce fioul ? On a pu lire dans *Le Monde* que ce fioul n° 2 était « très cancérigène ». À ce compte, on peut dire que l'essence également est « très cancérigène », puisqu'il y a jusqu'à 42 % d'aromatiques dans l'essence, comme dans le fioul de l'Erika[11].

Au fait, pourquoi tant d'aromatiques dans l'essence ? Tout simplement les aromatiques, qui contiennent proportionnellement beaucoup de carbone dans leurs molécules, ont un excellent indice d'octane (115), ils sont donc d'un grand secours pour faire fonctionner nos moteurs modernes.

Quand verrons-nous disparaître le fioul de l'Erika ? Le pétrole qui est un mélange d'hydrocarbures légers et lourds demande 10 ans pour être transformés sous l'action du dioxygène de l'air et de la lumière alors que le fioul de l'Erika, surtout constitué de grosses molécules, exigera probablement plus de 20 ans.

Conclusion

L'information moderne veut des réponses instantanées à un problème posé. Mais la science, si elle travaille sérieusement, ne fonctionne pas en « presse-bouton ». On l'a vu récemment avec le fioul dit cancérigène, comme avec la listeria qui pour l'instant a tué neuf personnes, ce qui ne représente pas vraiment « une épidémie ». Cependant, dans ce cas, plusieurs entreprises et de nombreux emplois ont été détruits par une information en folie.

Claude Moreau
Lycée Chateaubriand

NOTES

1. La vie se nourrit d'entropie négative (Schrödinger).
2. Un système ouvert se maintient « en état d'équilibre » : c'est notre cas. Notre état d'équilibre, c'est la mort.
3. On peut faire un parallèle avec la Bourse. On achète une action 100 FF mais il y a des frais : on la paye 101 FF. On la revend 100 FF, mais il y a encore des frais : on reçoit 99 FF. Conséquence, on est revenu au point initial et dans l'aller-retour, on a perdu 2 FF : c'est cela l'entropie.
4. La chimie (comme l'information et la communication) peut polluer, mais elle participe également à la dépollution .
5. Le choc des mots ou des expressions est assez impressionnant dans nos sociétés : « voiture propre », « principe de précaution »...
6. C'est comme si on nous demandait de ne pas nous chauffer l'hiver.
7. Les producteurs de plomb aussi (il ne leur reste plus que les batteries).
8. L'expérience montre que l'informatique ne s'est pas substituée au papier ni les télécommunications aux transports.
9. Il y a 20 ans, Jean-Marie Lehn, notre prix Nobel de Chimie, a montré une expérience géniale de photolyse de l'eau. Une goutte d'eau exposée à la lumière se transforme en H₂ et O₂. Malheureusement, la catalyseur pour O₂ est hors de prix et il se décompose.
10. Craquer les grosses molécules pour en obtenir de petites.
11. Il est prévu de passer de 42 % à 32 % d'aromatiques dans l'essence après 2005.