

Dream Farm

La ferme visionnaire* - Une proposition

Dr. Mae-Wan Ho **

Traduction, définitions, compléments d'information : Jacques Hallard ***

Comment faire face au changement climatique et imaginer l'économie après la fin des combustibles et carburants fossiles ¹

Proposition d'une ferme, d'une exploitation agricole, définie comme "zéro-émission, zéro-déchet", d'après un fructueux séminaire avec George Chan, qui incarne une sorte de légende vivante, à la suite de la création d'un très grand nombre de telles exploitations agricoles qui ont comme objectif de supprimer la pauvreté dans des pays du tiers monde. "La ferme visionnaire est exactement ce dont nous avons besoin pour alimenter le monde, pour atténuer le changement climatique et pour laisser chaque terrien prospérer en bonne santé et dans l'abondance, dans l'économie future, lorsque les combustibles et les carburants fossiles seront épuisés".

* Pour exprimer "*Dream Farm*", nous avons hésité entre plusieurs expressions : d'abord "la ferme dont on rêve", formule littérale qui risquait de refléter une consonance plutôt irréaliste ; puis nous avons également hésité sur "la ferme utopique" dont l'adjectif peut suggérer une réalisation impossible parce qu'elle n'a jamais encore été tentée. Ou encore "la ferme idéale", la "ferme parfaite". Finalement nous avons opté pour la "**ferme visionnaire**" en nous référant : a) D'une part à la définition donnée d'un **visionnaire**, comme une personne qui a su le premier montrer un avenir à toutes les innovations techniques, aussi folles qu'elles aient pu apparaître à ses contemporains. b) D'autre part à la définition du dictionnaire « Le Petit Robert » : **Vision** : façon de voir, de concevoir un ensemble de choses complexes. Le processus **visionnaire** est également appliqué au pilotage d'une entreprise, à partir de bases historiques et littéraires, puis soumises à l'épreuve des réalisations dans des entreprises ; Nicolas Ederlé (2000) parlait d'une élaboration "à partir d'une vision partagée vers une représentation co-créée". Source : www.dauphine.fr/crepa/ArticleCahierRecherche/Articles/NicolasEderle/niE-art137EP.pdf

** Directeur de "The Institute of Science in Society" m.w.ho@i-sis.org.uk , organisation non gouvernementale basée à Londres, Grande Bretagne : <http://www.i-sis.org.uk> . Les informations générales concernant cet institut sont disponibles auprès de Sam Burcher : sam@i-sis.org.uk

*** Ingénieur CNAM, consultant indépendant, responsable ingénieries scientifiques et technologies de la durabilité à APREIS. jacques.hallard@wanadoo.fr

¹ Le rapport original du Dr. Mae-Wan HO intitulé "Dream Farm II – A Proposal : How to Beat Climate Change & Post Fossil Fuel Economy", est accessible ici : www.indsp.org/pdf/DreamFarmHowtoBeatClimateChange.pdf . Une version partielle est aussi accessible sous le titre : How to Beat Climate Change & Post Fossil Fuel Economy : www.i-sis.org.uk/DFHTBCC.php

Pourquoi la ferme visionnaire ?

Nous avons fait, dans un numéro récent de notre revue ², un reportage sur un système intégré de gestion de l'alimentation et des déchets, encore défini comme "zéro déchets" par le Professeur George Chan, dans un article intitulé "la ferme visionnaire", *Dream Farm*, en anglais³. Ce modèle de ferme pourrait potentiellement résoudre la crise de l'énergie et de nourriture à laquelle le monde doit faire face et contribuer de manière significative à une atténuation du changement climatique. C'est pourquoi nous proposons d'installer cette "**ferme visionnaire, version II**" en Grande-Bretagne.

² Science in Society N°27

³ Ho MW. Dream Farm. *Science in Society* 2005, 27, 26-28. <http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

Pourquoi avons-nous besoin d'une ferme visionnaire ?

Les combustibles fossiles à bon marché se tarissent

Le secteur de l'alimentation des Etats-Unis consomme 17 pour cent et le Canada 11,2 pour cent de l'énergie, sans inclure les activités d'import-export, les bâtiments et les équipements des usines de transformation alimentaire, la collecte et le traitement des déchets ainsi que les infrastructures routières pour les transports.

L'eau disponible se raréfie pour les cultures vivrières

Il faut à 1 000 tonnes de l'eau pour produire une tonne de grain; les couches aquifères sont sévèrement épuisées dans les principales plaines à grains du monde.

La productivité agricole des denrées alimentaires est en chute

Les rendements en grains ont diminué au cours des quatre dernières années; les réserves alimentaires du monde sont à leurs plus bas niveaux depuis 30 ans.

Des terres cultivables sont perdues à cause de pratiques non durables

Le monde perd annuellement 20 millions d'hectares, soit encore de 1,3 pour cent de terres cultivables par l'érosion et la salinité des sols; le remplacement par de nouvelles terres à des fins agricoles est responsable de 60 pour cent du déboisement réalisé chaque année, ce qui a comme résultat une accélération considérable du réchauffement climatique.

Il y a un besoin pressant de réduire les émissions de gaz à effet de serre

Le secteur alimentaire dans un pays européen (la France) est responsable de plus de 30 pour cent des émissions de carbone, sans inclure comprenant les activités d'import/export, les utilisations domestiques dans les familles, le stockage et les transformations industrielles d'aliments et les engrais importés

Le réchauffement climatique menace la production mondiale de nourriture

On relève une baisse des rendements agricoles de 10 pour cent pour chaque degré d'élévation de la température nocturne; la dernière prévision est une augmentation de la température moyenne de la terre de 1,9 à 11,5 degrés dans le cours de ce siècle.

Nous vivons une crise énergétique et le carburant et le combustible à bon marché sont des choses du passé⁴, mais notre système courant d'alimentation reste intensément consommateur en énergie. Le Programme pour l'Environnement des Nations Unies estime que le secteur de l'alimentation consomme environ 10-15 % de l'énergie totale dans les pays industrialisés⁵, alors que seulement 2-5 % sont concernés par les exploitations agricoles, essentiellement dus aux engrais, aux pesticides et aux machines agricoles.

Les évaluations pour le secteur alimentaire aux Etats-Unis et au Canada sont respectivement de 17 pour cent et de 11,2 %⁶, en y incluant l'énergie totale consommée au niveau des fermes,

⁴ Ho MW. Is oil running out? *Science in Society* 2005, 5, 50-51. <http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

⁵ Key issues and information sources – energy, Sustainable Agri-food production and consumption forum, United Nations Environment Programme. <http://www.agrifood-forum.net/issues/energy.asp>

⁶ Horrigan, Leo, Robert S. Lawrence, and Polly Walker. How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture. *Environmental Health Perspectives* Vol 110, 5 May 2002.

pour la transformation, le conditionnement, le transport et le stockage des produits agricoles, ainsi que l'énergie employée par les ménages pour acheter, stocker et préparer la nourriture.

Ces chiffres n'incluent pas les coûts énergétiques liés aux équipements et aux bâtiments, aux transformations des produits alimentaires, à la collecte des déchets et à leur traitement, ou encore les infrastructures routières pour les transports ; ils n'incluent pas non plus l'énergie consommée par les importations et les exportations d'aliments. Le commerce alimentaire mondial détruit le niveau de vie des fermiers partout dans le monde, alors que les sociétés consolident leur commande sur les produits mis en marché à travers les chaînes alimentaires de la distribution⁷, et des excédents alimentaires subventionnés sont évacués des pays riches du nord sur les pays pauvres du sud⁸.

Le commerce alimentaire mondial gaspille également des quantités énormes de combustibles et **carburants fossiles** et répand des tonnes supplémentaires de **gaz à effet de serre** dans l'atmosphère.

L'épuisement des réserves en eau est peut-être encore plus sérieux, car l'agriculture industrielle est extrêmement gourmande en eau⁹. Il faut environ 1.000 tonnes d'eau pour produire une tonne de grains¹⁰; les couches **aquifères** sont mises à mal par les prélèvements par pompes dans les principaux bassins mondiaux, producteurs de grains, qui sont situés aux Etats-Unis, en Chine et en Inde¹¹.

Non seulement l'eau est épuisée, mais il en est de même pour les sols, les éléments nutritifs et la fertilité en général, de sorte que la productivité agricole a chuté. Les rendements en grains ont diminué pendant les quatre années successives, de 2000 à 2003, et les réserves alimentaires mondiales ont atteint leur niveau le plus bas depuis les trente dernières années.

Les pratiques agricoles non durables des décennies passées ont eu comme conséquence des pertes massives de terres arables cultivables, du fait de l'érosion et de l'augmentation de la salinité ; ces pertes se chiffrent à 20 millions d'hectares par an, ce qui correspond encore à 1,3 pour cent des surfaces cultivées mondiales¹².

Le remplacement de ces surfaces perdues est responsable de 60 pour cent du déboisement, de la déforestation planétaire, ce qui accélère considérablement le changement climatique. C'est pourquoi les catastrophes telles que l'ouragan Katrina, des inondations, des périodes de sécheresse et des conditions météorologiques extrêmes sont de plus en plus fréquentes, avec un impact négatif sur les productions alimentaires.

A Descriptive Analysis of energy consumption in the agriculture and food sector in Canada, Final Report, February 2000, CAFEDAC. <http://www.usask.ca/agriculture/caedac/pubs/processing.PDF>

⁷ Oram JA. A future for farmers ? Corporate control in the agrifood system. ISIS Dream Farm Workshop presentation. Kindersley Centre, Berkshire, 21 January 2006

⁸ Gala R. Agriculture without farmers. *Science in Society* 2005, 27, 30-31. <http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

⁹ Brown L. *Plan B: Rescuing a Planet under Stress and a Civilization in Trouble*, Earth Policy Institute, W.W. Norton & Company, New York, 2003.

¹⁰ *Yield Response to Water*, FAO, Rome, 1979, cited in Brown, 2003.

¹¹ Brown L. *Outgrowing the Earth, The Food Security Challenge in an Age of Falling Water Tables and Rising Temperatures*, W.W. Norton & C., New York, 2004.

¹² Pimental D and Wilson A. World population, agriculture, and malnutrition. Published 2 Jan 2005 by worldWatch/Constructive Creativity. <http://www.energybulletin.net/3834.html>

Il y a un besoin pressant de réduire des émissions de **gaz à effet de serre** pour atténuer le changement climatique et beaucoup peut être fait à travers notre système d'alimentation. Une évaluation du secteur alimentaire français aboutit à un chiffre de 30 pour cent des émissions totales de carbone au niveau national; et encore ces chiffres n'incluent-ils pas de qui est lié aux importations et aux importations, les utilisations domestiques au niveau des familles, le stockage et les transformations industrielles d'aliments, ainsi que ce qui se rapporte aux matières fertilisantes importées¹³

Le **réchauffement climatique** au niveau mondial menace la production de nourritures du fait de la seule augmentation de la température. Les rendements tombent de 10 pour cent pour chaque élévation de un degré centigrade de température nocturne¹⁴ et les plus récentes prédictions font état d'une élévation globale des températures moyennes située entre 1,9 à 11,5 degrés dans le cours de ce siècle, lorsque le **gaz carbonique** dans l'atmosphère va atteindre 560 ppm, ou parties par million, soit le double du niveau enregistré au début l'époque préindustrielle¹⁵.

Le vétéran Lester Brown, un observateur mondial réputé, résume ainsi les retombées de cette "bulle de l'économie environnementale" qui s'est faite jour à l'issue de décennies d'une exploitation non durable des ressources terrestres: *"effondrement des prises lors des pêches, réduction des forêts, extension des déserts, élévation de la concentration en gaz carbonique, érosion des sols, élévation des températures, abaissement du niveau des nappes souterraines, fonte des glaciers, détérioration des prairies naturelles, élévation du niveau des mers et des océans, assèchement des lits des rivières et des fleuves et disparition des espèces vivantes."* Il nous avertit que la bulle de l'économie environnementale est en voie d'effondrement, le secteur le plus vulnérable étant celui de la nourriture; le plus grand défi étant donc d'alimenter la population mondiale¹⁶

Il nous dit également que nous devons restructurer l'économie à la "vitesse grand V, comme en temps de guerre", prendre en compte et annoncer la vérité écologique.

Ce que Lester Brown n'a pas dit tout à fait précisément, c'est que le vieux modèle est aussi responsable de beaucoup de souffrances et de pauvretés humaines. Ce modèle passéiste n'étale pas seulement ses déchets à la surface de notre terre, mais il répand également ses effets négatifs, et pour les mêmes raisons, parmi les sociétés et les populations. C'est la croyance fondamentaliste et erronée dans la survie du plus fort; et que la compétition et l'exploitation sont les lois du marché autant que les lois de la nature¹⁷.

Un nouveau modèle de ferme visionnaire

¹³ How much greenhouse gases in our plate ? Jean-Marc Jancovici. March 2004 http://www.manicore.com/anglais/documentation_a/greenhouse/plate.html

¹⁴ Peng S, Huang J, Sheehy JE, LazAa RC, Visperas RM, Zhong X, Centeno GS, Khush GS and Cassman KG, Rice yields decline with higher night temperatures from global warming. PNAS 2004, 101, 9971-5.

¹⁵ "Internet project forecasts global warming. Biggest-ever climate simulation warns temperatures may rise by 11oC." Michael Hopkin, New@nature.com published online: 26 January 2005.

¹⁶ Ho MW. The food bubble economy. Science in Society 2005, 25, 48-49. <http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

¹⁷ Ho MW. Genetic Engineering Dream or Nightmare, Turning the Tide on the Brave New World of Bad Science and Big Business, Third World Network, Gateway Books, MacMillan, Continuum, Penang, Bath, Dublin, New York, 1997, 1998 2nd ed., translated into many languages. Now available in CD <http://www.i-sis.org.uk/onlinestore/av.php>

De ce que nous avons besoin avant toute chose, c'est un nouveau modèle, un nouveau **paradigme** et c'est bien précisément le sujet de la **ferme visionnaire**. C'est une unité autosuffisante pour ses approvisionnements en énergie et nourriture, basée sur des relations de réciprocité et de mise en synergie, plutôt que sur la concurrence. C'est le noyau dur, ou un centre de nucléation d'un système soutenable ou durable de production et de consommation des aliments, dont nous avons besoin pour une économie postérieure à l'ère des combustibles fossiles. C'est un microcosme du nouveau paradigme qui se met en route et en fonction d'une manière très concrète.

C'est pourquoi **ISIS** se propose d'installer une version II de cette ferme visionnaire, dans un but de démonstration, d'éducation et de projets de recherches, en combinant les meilleures technologies et les plus appropriées, de manière à présenter ce nouveau paradigme et, dans le en même temps, pour opérer en tant que centre d'incubation et de ressources pour les connaissances et les technologies qui servent vraiment les populations et la planète.

Mobilisons l'ingéniosité humaine

Le schéma 1 ci-dessous est un diagramme très simplifié du système de George Chan, que j'appellerai la **ferme visionnaire version I** ou *Dream farm I*, en anglais. Il est clair que d'après l'excellente présentation de George, les fermes et les exploitations agricoles sont très diverses, selon les ressources locales disponibles, l'ingéniosité des personnes concernées et l'imagination déployée dans les populations.

Le **digesteur anaérobie** [*Biogas Digester*] est alimenté par les fumiers et les lisiers [*Livestock manure & waste water*] qui proviennent du bétail [*Livestock*]; il produit du biogaz [*biogas*] qui répond à tous les besoins énergétiques : l'électricité, le chauffage, l'éclairage, la cuisson et la transformation des aliments [*All energy needs : electricity, heating ; lighting, cooking, food processing*].

Les eaux usagées et partiellement nettoyées [*waste water*] sont dirigées vers le bassin des algues [*Algal basin*] où les algues produisent par photosynthèse tout l'oxygène requis pour dépolluer l'eau [*detoxified water*], et la rendant utilisable dans un bassin aux poissons [*fishpond*]. Les algues sont aussi récoltées pour nourrir des poulets, des canards, des oies [*chicken, ducks, geese*] et tout autre bétail. Le bassin aux poissons [*fishpond*] peut supporter un mélange de 5-6 espèces de poissons compatibles entre eux. L'eau de ce bassin va servir pour l'irrigation fertilisante dans les cultures de diverses espèces végétales [*diverse crops*] en plein champ ou sur des parcelles constituées par de petites digues. L'aquaculture du riz, des fruits et des légumes peut être faite dans des installations flottantes à la surface du bassin aux poissons. L'eau de ce bassin peut également être pompée et dirigée dans des serres chaudes pour alimenter des **cultures hydroponiques** d'espèces fruitières ou de légumes.

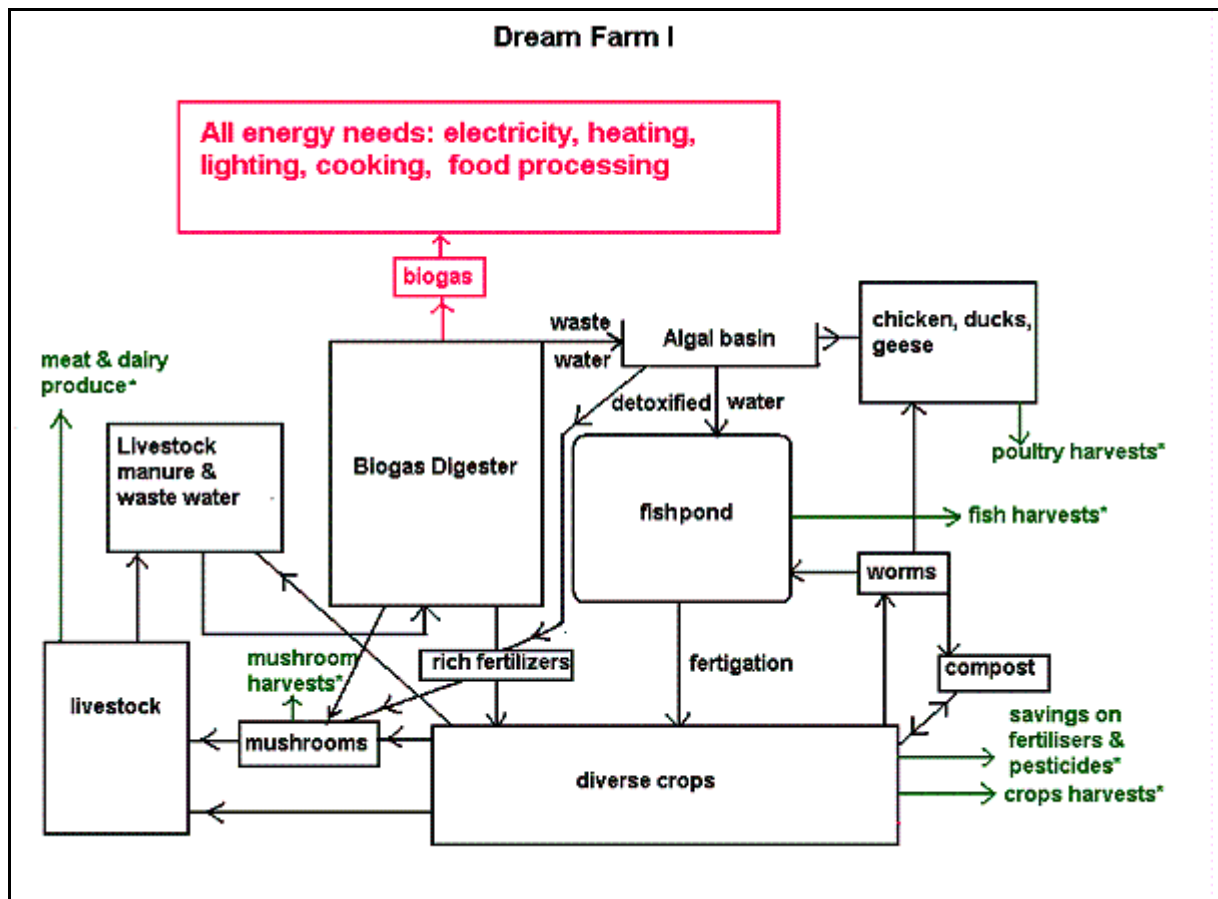


Schéma 1. La ferme visionnaire, version I, selon George Chan

Le digesteur anaérobie fournit des éléments nutritifs riches [*rich fertilizers*] qui constituent un excellent engrais pour les cultures. Ces éléments fertilisants pourraient également être mélangés aux algues et aux résidus de cultures pour cultiver des champignons [*mushrooms*] après stérilisation à la vapeur du substrat. Les résidus de la culture des champignons peuvent être fournis au bétail [*livestock*] ou être compostés [*compost*].

Les déchets des cultures sont également dirigés vers le bétail [*livestock*]. Les résidus des récoltes et de la nourriture sont employés pour multiplier des vers de terre [*worms*] afin d'alimenter les poissons [*fishpond*] et la volaille [*chicken, ducks, geese*]. Les matériaux des composts et des vers de terre vont retourner au sol et l'enrichir. Le fumier du bétail est de nouveau dirigé vers le digesteur anaérobie, et va, de ce fait, boucler le grand cycle. Il en résulte une ferme hautement productive qui est plus qu'autosuffisante en énergie et en nourriture.

Ce que j'aime le plus dans les fermes de George Chan, c'est de constater combien les animaux ont l'air de se sentir bien¹⁸. Ils sont biologiquement nourris et entraînés à la propreté pour déposer leurs excréments directement dans une déviation qui va vers le digesteur, ainsi les

¹⁸ Chan G. Dream Farms. Effective & economic possibilities in applying ecological engineering means to sustainable agriculture & agribusiness. Presentation at ISIS Dream Farm workshop, Kindersley Centre, Berkshire, UK, 21 January 2006.

animaux et leur espace vital sont propres et immaculés, ce qui rend les animaux sains et satisfaits.

J'ai déjà décrit la version I de la ferme visionnaire¹⁹ comme "*une ferme abondamment productive avec zéro intrant et zéro émission, et mue par des animaux gobeurs de déchets et par l'ingéniosité humaine.*"

Il y a beaucoup d'ingéniosité humaine parmi les scientifiques, les ingénieurs et chez beaucoup d'autres professionnels qui ne voudraient rien de mieux que d'utiliser leur ingéniosité pour le bien des personnes, des populations et de la planète, ainsi que pour créer un monde soutenable ou durable pour tous ses habitants. Mais ils en ont tellement peu l'occasion dans le cadre du régime dominant.

La version II de la ferme visionnaire

J'ai été vraiment inspirée par le travail de George Chan et l'idée d'installer une version II de la ferme visionnaire m'est bien vite venue à l'esprit. Heureusement, la première personne à laquelle j'en ai parlé, après avoir pris contact avec George Chan, était Kenneth Spelman; c'était en août 2005. J'aurais besoin d'un bon ingénieur, selon George et il y se trouvait deux possibilités. J'ai d'abord téléphoné à Kenneth et j'ai testé cette idée auprès de lui : il s'est tout de suite montré très intéressé.

Ainsi, au cours des mois suivants, nous avons rassemblé une équipe d'associés potentiels pour une proposition à l'intention d'une organisation britannique, *Carbon Trust*, qui a semblé être l'agence idéale pour le financement de ce projet. *Carbon Trust* a exigé que 50 pour cent du financement à venir provienne du secteur industriel. Les sociétés que nous avons contactées ont pour la plupart apprécié cette idée; c'était une période plutôt grisante. Nous sommes parvenus à soumettre la proposition juste avant la date limite fixée au mois de novembre.

Malheureusement, la proposition est tombée à l'eau dès la première sélection. Nous avons appris depuis que l'idée du gouvernement de Tony Blair en la matière, était de réduire les émissions de gaz carbonique par la construction d'usines électronucléaires²⁰

Pourtant ces dernières sont largement réputées pour être désastreuses au plan écologique, non seulement du fait des déchets radioactifs qui sont générés, mais également en raison de leur rendement économique qui est très mauvais; de plus, ces installations ne procurent que très peu ou pas du tout de réduction des émissions des **gaz à effet de serre**, si on les compare aux usines de production d'électricité à partir de la combustion du gaz²¹ Le programme du

¹⁹ Ho MW. Dream Farm. *Science in Society* 2005, 27, 26-28. <http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

²⁰ "No more nuclear power stations should be built as they are "hopelessly uneconomic" and would create vast amounts of waste, say the Lib Dems." BBC News 17 January 2006. http://news.bbc.co.uk/1/hi/uk_politics/4620072.stm

²¹ *Science in Society*, N°27

"No more nuclear power stations should be built as they are "hopelessly uneconomic" and would create vast amounts of waste, say the Lib Dems." BBC News 17 January 2006.

http://news.bbc.co.uk/1/hi/uk_politics/4620072.stm

Bunyard P. Energy strategies in global warning : Is nuclear energy the answer ? *Science in Society* 2005, 27, 12-15. <http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

gouvernement de Tony Blair intitulé "Energie à partir des déchets " est en fait limité au traitement par combustion des déchets dans des incinérateurs qui vont cracher leurs fumées toxiques à des kilomètres aux alentours²².

Mais nous n'allons pas renoncer à ce projet et j'espère que vous allez comprendre pour quelle raison. Je profite de cette opportunité pour remercier George Chan pour ses encouragements et ses réponses à de nombreuses questions qui lui furent adressées par courriel, et Kenneth Spelman, de la même façon, qui a entrepris de fournir pratiquement tous les éléments qui ont permis de bâtir le dossier de proposition destiné à *Carbon Trust*.

Nos remerciements vont aussi à nos partenaires concernés : *Biogas Technology Limited*, , ainsi que le Centre de recherché *ElmFarm Research Centre*. Merci également à David McGrath de *SiGen*, James Bakos de *SHEC*, Peter Saunders, Peter Rae et toutes les autres personnes qui nous ont prodigué des suggestions et des commentaires précieux. Cette proposition auprès de *Carbon Trust* ²³ a été formulée avec beaucoup d'enthousiasme de la part de chacun et "à une vitesse grand V, requise en temps de guerre" !

La ferme intégrée à émissions réduites et avec des fonctions énergétiques et alimentaires

Pour la proposition effectuée auprès de *Carbon Trust*, nous avons dû appeler notre "ferme visionnaire" d'un nom un peu ennuyeux "Ferme intégrée à émissions réduites et avec des fonctions énergétiques et alimentaires, ou *Integrated Reduced Emissions Food and Energy Farm, IREFE*, en anglais. Le conseil de Kenneth était de ne pas mentionner le terme de déchets, sinon les spécialistes nous auraient descendus en flèche.

Les buts de ce projet *IREFE* sont de maximiser une croissance équilibrée ainsi que la productivité, de minimiser les impacts sur l'environnement, d'où les termes choisis : "zéro émission", "zéro déchet", et même "zéro intrant", et, le plus important de tout, de réaliser une autosuffisance en énergie et en nourriture.

Ces buts sont aussi à la base du nouveau modèle économique, décrit dans la version complète de la présente proposition ²⁴

Retournons maintenant aux possibilités de réalisation : comment les objectifs de la ferme visionnaire son-ils atteints ?

Tout d'abord, nous récupérons les gaz à effet de serre (**biogaz méthane**) non seulement à partir des fumiers des animaux d'élevage et des eaux usées, mais également des résidus de récoltes et de certains résidus alimentaires, les quels constituent les matériaux de base pour le **digesteur anaérobie** ; ce dernier est producteur de carburants, qui se substituent aux carburants fossiles, pour couvrir les besoins en énergie sur l'exploitation agricole et les usages mobiles pour les transports et les équipements agricoles. Notez bien comment ceci réduit doublement les émissions de carbone : premièrement en évitant que le **méthane** et le

²² Bunyard P. Deconstructing the nuclear power myths. Science in Society 2005, 18-19.

<http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

²³ " Is energy from waste viable?" Tom Heap, BBC News 18 January 2006.

http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/4624700.stm

²⁴ "Sustainable food systems for sustainable development Science in Society N°27

protoxyde d'azote [gaz à effet de serre], émanant des déchets de l'exploitation, ne se répandent dans l'atmosphère et, deuxièmement, par les carburants fossiles qui sont épargnés, économisés par la combustion du méthane qui les remplacent. **Mais cela n'est pas le seul bénéfice de notre approche**, qui se distingue de l'approche du gouvernement du Royaume Uni et qui consiste à incinérer les déchets.

Il résulte du confinement des "déchets" de l'exploitation agricole dans le digesteur en anaérobiose, que les éléments nutritifs, et tout spécialement l'azote nitrique, sont conservés, au lieu d'être diffusés et perdus sous la forme d'ammoniac et de protoxyde d'azote, ce dernier étant un gaz à effet de serre très puissant ; ou bien encore être lessivés à travers les sols et les eaux de surface qu'ils viennent polluer. Ces éléments nutritifs peuvent alors servir à la croissance des algues, des poissons, du bétail, etc... et maximiser la productivité de la ferme.

Récupérer la lumière solaire, c'est ce que font naturellement les plantes cultivées, tout comme le font également les algues dans le bassin de digestion en **aérobiose**, dans lequel est produit tout l'oxygène nécessaire, d'une part, pour la purification des eaux partiellement épurées qui sont émises par le digesteur en anaérobiose et, d'autre part, pour le **phytoplancton** du bassin aux poissons qui va nourrir une ou plusieurs espèces de poissons qui cohabitent dans ce milieu là avec bonheur.

Des **panneaux solaires** sont incorporés, spécialement ceux de la nouvelle génération qui sont financièrement plus accessibles, faciles à installer et durables²⁵.

La régénération et le stockage de l'eau potable non chargée en polluants est l'un des aspects importants de cette ferme visionnaire, alors que des pénuries et des privations affectent beaucoup d'endroits dans le monde. Après avoir été épurée par les algues, l'eau est dirigée vers le bassin aux poissons. A partir de là, l'eau peut être encore raffinée par différentes espèces de plantes aquatiques avant de retourner dans l'**aquifère**. Cette eau du bassin aux poissons retourne aussi à l'aquifère en étant utilisée pour fertiliser les plantes cultivées et par filtration à travers les couches du sol et du sous-sol.

Le **ferme visionnaire** fonctionne strictement selon les principes de l'agriculture biologique [*organic farming*, en anglais] car aucun pesticide ou autre produit chimique ne vient tuer les bactéries dans le digesteur. C'est maintenant une évidence que les produits de l'agriculture biologique sont meilleures pour la santé : non seulement ils ne contiennent pas de résidus de pesticides nocifs, mais ils sont aussi enrichis en **antioxydants**, vitamines et minéraux²⁶

L'énergie est utilisée sur le lieu même de sa production. Cette micro production est de plus en plus prisée partout dans le monde. Cette énergie électrique ne dépend pas d'un réseau de distribution et, pour cette raison, elle convient mieux aux pays en développement. Dans les pays développés, les petites installations de productions locales protègent des pannes sur les lignes et des interruptions de production à la source, sans parler des risques en cas d'attaques terroristes sur le réseau.

²⁵ 23. Ho MW. Solar power comes of age series. ISIS Reports January 2006; also Science in Society 2006, 29 (to appear)..

²⁶ Ho MW and Lim LC. The Case for GM-Free Sustainable World, Independent Science Panel Report, ISIS and Third World Network, London and Penang, 2003; republished GM-Free, Vitalhealth Publishing, Bridgeport, Conn., 2004; translated into Spanish, French, German, Chinese, Portuguese, Dutch.
<http://www.i-sis.org.uk/onlinestore/books.php#232>

Selon une étude effectuée au Royaume Uni, on estime que jusqu'à 69 pour cent de l'énergie est dissipée entre l'électricité produite dans les stations de production et sa distribution sur les lignes du réseau électrique²⁷.

Quel meilleur moyen de réduire les distances que font les aliments et tous les impacts sur l'environnement des opérations d'import-export de nourriture, que de consommer des produits alimentaires frais, produits localement et de bonne qualité, au lieu de produits dont les propriétés sont incertaines ?

Un rapport publié récemment²⁸ à la demande de l'organisme britannique **DEFRA** (*Department of the Environment Food and Rural Affairs*), chargé de l'administration de l'Environnement, de l'Alimentation et des Affaires Rurales, et concernant les distances effectuées par les produits alimentaires, estime que les coûts directs économiques, environnementaux et sociaux du transport des aliments, sont supérieurs à 9 milliards de livres chaque année. Les difficultés de trafic sont estimées à 5 milliards de livres, les accidents à 2 milliards de livres et les 2 milliards restants sont affectés aux émissions de gaz à effet de serre, à la pollution de l'air, aux bruits et dégâts causés aux infrastructures.

La valeur de la production de la section Agriculture était de 6,4 milliards de livres et celle du secteur industriel de transformation et de production des aliments et des boissons était évaluée à 19,8 milliards de livres. En d'autres termes, le total de 26,2 milliards de livres estimés pour l'agriculture et l'industrie des aliments et boissons, nécessite une externalisation de coûts de 9 milliards de livres, soit 34 pour cent des coûts qui sont supportés par les contribuables²⁹.

Des technologies appropriées qui sont une question de conception

Le **digesteur anaérobie**, producteur de **biogaz**, est la clé de voûte technologique de la ferme visionnaire.

Les digesteurs peuvent être de n'importe quelle taille, pouvant aller des plus petites construites en matière plastique, des bidons usagés de carburants, des moulages en fibre de verre, jusqu'au plus grosses réalisées en béton armé, comme George Chan nous l'a montré³⁰.

J'ai rencontré de toutes petites installations enterrées, simples et faciles d'entretien, pour les besoins d'une seule famille³¹, mais aussi des constructions de très grandes dimensions pour les besoins d'industries manufacturières ou pour des usines de traitement des déchets.

J'en ai trouvé une qui sert au traitement des toilettes scolaires à Addis Abeba, en Ethiopie, également enterrées dans le soubassement avec deux ouvertures recouvertes. Les fumiers des

²⁷ Philips G. Domestic energy use in the UK. Power conversion, transport and use. Spring 2000 Powerwatch <http://www.powerwatch.org.uk/energy/graham.asp>

²⁸ The validity of food miles as an indicator of sustainable development Final Report produced for DEFRA by AEA Technology, July 2005. <http://statistics.defra.gov.uk/esg/reports/foodmiles/final.pdf> <http://www.powerwatch.org.uk/energy/graham.asp>

²⁹ Ho MW and Gala R. Food miles and sustainability. Science in Society 2005, 28, 38-39.

³⁰ Chan G. Dream Farms. Effective & economic possibilities in applying ecological engineering means to sustainable agriculture & agribusiness. Presentation at ISIS Dream Farm workshop, Kindersley Centre, Berkshire, UK, 21 January 2006.

³¹ "Biogas from cow dung in Sri Lanka". ITDG. 19 December 2005. http://www.itdg.org/?id=biogas_christmas

animaux peuvent également être ajoutés à travers l'un des trous et remués avec un bâton. La seconde ouverture laisse entrevoir un tuyau avec une valve, vraisemblablement pour contrôler le flux de biogaz.

Un autre digesteur que j'ai repéré au Centre de Formation Agricole à Kasisi, près de Lusaka, en Zambie, n'était plus en usage ; il avait été construit près d'un bâtiment d'élevage de porcs, actuellement hors service.

Deux très grands digesteurs, de 2.500 mètres cubes chacun, ont été installés sur une exploitation de 1.000 acres dans le Wisconsin, aux Etats-Unis, qui héberge mille têtes de bovins³² Ils sont complètement automatisés, chauffés et surveillés, avec des alarmes appropriées, des valves, des sifflets et tout le saint-frusquin.

Mais George Chan nous avait mis en garde : plus c'est automatisé et plus ça risque d'aller de travers. Ainsi le défi est de concevoir quelque chose de supportable financièrement, de facile à utiliser et à entretenir et plutôt à taille humaine.

Pierre Labeyrie, qui travaille pour EDEN (Energie, Développement, Environnement) à Toulouse, en France – une organisation qui aide les exploitants agricoles à installer des digesteurs producteurs de biogaz – m'a rapporté que le digesteur typique qui est installé est de 2.000 mètres cubes, même pour de petits éleveurs qui ont seulement 100 vaches. La raison semble absurde.

En Europe, au terme des règlements en vigueur, les fermiers doivent stocker leurs fumiers de quatre mois dans des lagunes à lisiers de cette grande dimension. Plutôt que de changer les textes, maintenant que les déjections fraîches sont traitées et qu'il n'y a plus de raison de stocker les lisiers, ils ont trouvé plus simple de construire de grands digesteurs. Mais cela signifie plus de capitaux engagés et des dépenses d'entretiens pour l'exploitant. J'ai posé cette question à l'administration britannique du Commerce et de l'Industrie et j'attends leur réponse.

Ces digesteurs ne sont pas très beaux à regarder. Nous avons besoin que des architectes paysagistes et des ingénieurs travaillent ensemble pour concevoir de belles exploitations parfaitement fonctionnelles. Qu'est-ce qui peut être fait de plus que les cultures principales et le bétail, avec des bassins à poissons, des retenues de faible profondeur pour les algues, des surfaces engazonnées, des bosquets d'arbres, des vergers, des potagers avec des plantes aromatiques et des plantations de fleurs décoratives, certaines flottant sur l'eau...

Les sociétés qui produisent les grands digesteurs³³ fournissent également une unité combinée de production d'énergie et de chaleur, à partir d'un moteur à combustion interne qui utilise le biogaz pour générer chaleur et électricité. Ces unités génératrices de chaleur et d'électricité peuvent maintenant produire de l'électricité avec une efficacité de 30 pour cent, avec 50 pour cent d'énergie récupérée sous forme de chaleur, ce qui donne une efficacité de conversion énergétique de 85 pour cent, qui est donc élevée.

³² Biogas Energy Systems. http://www.biogas-energy.com/docs_en/home.html

³³ Biogas Energy Systems. http://www.biogas-energy.com/docs_en/home.html

Des émissions de carbone épargnées

Dans une ferme de 1.000 acres, située dans le Minnesota, aux Etats Unis, avec un taux initial de stockage de 0,8 vache par acre, 2.063 kWh sont produits par vache et par an. J'ai fait un petit calcul sur le rendement énergétique et les émissions de carbone épargnées par vache et par an. La quantité de méthane requise pour générer cette quantité d'énergie électrique est de 620 mètres cubes ou 0,4464 tonnes, en supposant une efficacité de conversion en électricité de 30 pour cent. Ceci est équivalent à 9,828 tonnes de **gaz carbonique CO2** équivalent, en utilisant un potentiel de chaleur globale de 22 pour le méthane. La quantité de pétrole épargnée par vache en utilisant le méthane comme carburant est de 0,553 tonne, ce qui représente un supplément épargné équivalent à 1,715 tonnes de CO2 (une tonne de pétrole = 3,1 tonnes de CO2). On en déduit donc une économie totale, à partir d'une seule vache et sur une année, de 11,543 tonnes équivalent de CO2, en comptant seulement le méthane.

Une ferme de 100 acres avec 80 vaches, - ce qui représente une belle superficie pour une ferme de démonstration, avec plein de bosquets, un restaurant gastronomique sur le site pour tirer profit de toute cette bonne nourriture biologique avec des produits frais, plus un laboratoire de recherche analytique – devrait produire plus de 160.000 kWh d'énergie par an et économiser des émissions de 923,4 tonnes équivalent de CO2.

Si tous les fumiers produits au Royaume Uni – estimés à 200 millions de tonnes – étaient traités dans des digesteurs produisant du biogaz et si le biogaz était récupéré pour un usage comme carburant, les émissions de carbone économisées seraient supérieures à 14 pour cent du total des émissions du pays.

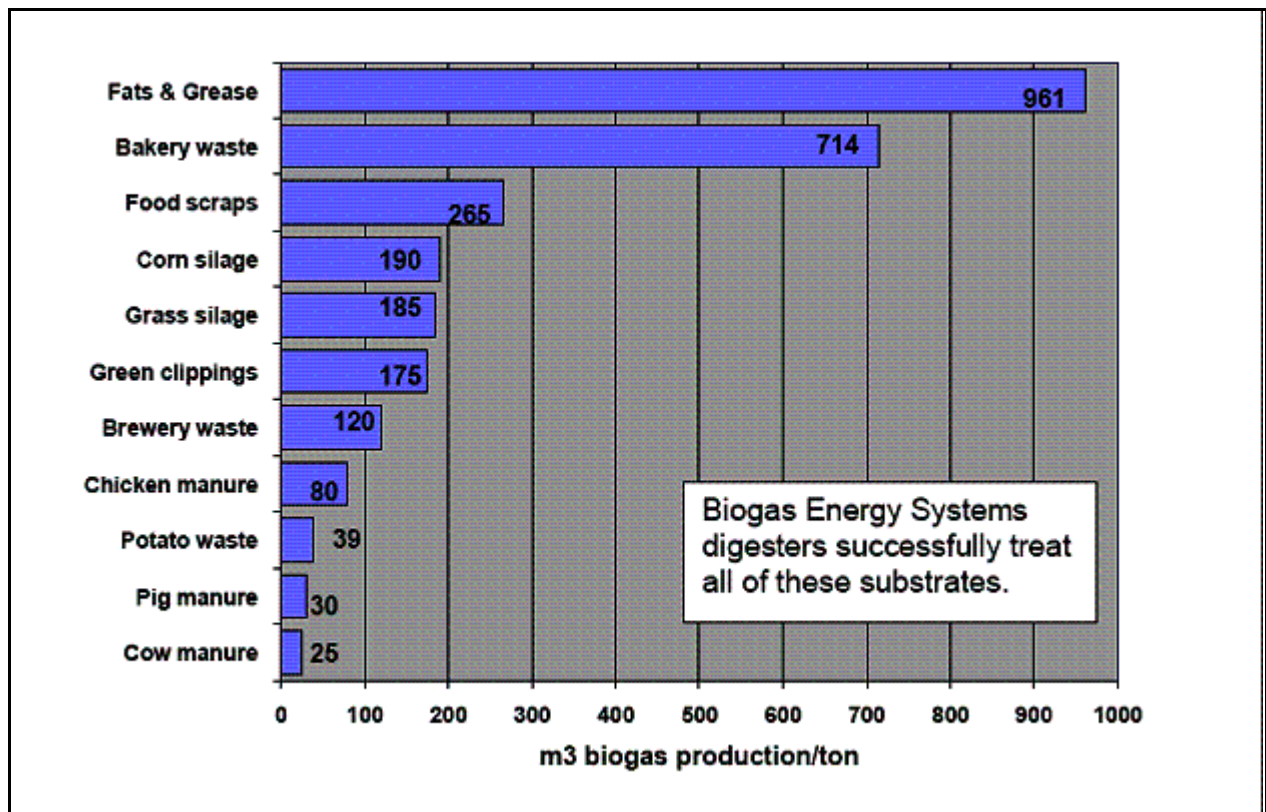
Mais nous pouvons faire beaucoup mieux que cela. Si tous les déchets des exploitations agricoles et les résidus alimentaires étaient incorporés, le rendement en biogaz pourrait être bien supérieur (voir plus loin). Le prix du marché, au 16 janvier 2006, était de 23,35 euros par tonne d'équivalent CO2. Ainsi 1.000 tonnes correspondent à plus de 23.000 euros de crédits de carbone³⁴.

J'ai été informée par l'administration britannique du Commerce et de l'Industrie que l'on ne pourrait bénéficier des crédits de carbone en Grande Bretagne, à travers les procédures mises au point à Kyoto, c'est-à-dire le *Clean Development Mechanism (CDM)* ou le *Joint Implementation (JI)*³⁵. Les projets *CDM* ne s'appliquent qu'aux pays en développement, tandis que les projets *JI* sont éligibles dans les pays développés, mais le Royaume Uni ne s'est pas encore engagé. Une option pourrait être les crédits par la réduction volontaire des émissions, ou *Voluntary emission reduction (VERs)*, en anglais ; ces crédits sont vendus sur le marché de détail pour des sociétés de compensation et des émissions individuelles, sur la base du volontariat.

Graphique 2
Rendements en biogaz en mètres cubes de production
par tonne des différents substrats utilisables

³⁴ Note du traducteur : sur ces questions relatives au gaz carbonique CO2, on peut se reporter aux rubriques "Puits de carbone" et "Séquestration du carbone" dans le chapitre "**Définitions et compléments**" qui se trouvent après les références bibliographiques.

³⁵ E-mail message from Dr. Jay Mariyappan of the Department of Trade and Industry, 23 January 2006, in reply to my enquiry 11 January 2006.



Les systèmes énergétiques de digesteurs producteurs de biogaz peuvent traiter toutes sortes de substrats : [soit de haut en bas sur le graphique ci-dessus] des matières grasses et des huiles, des déchets de panification, les rebuts alimentaires, le maïs et les graminées ensilées, les coupures de journaux et magazines, les résidus des brasseries, les fumiers de volailles, les déchets de pommes de terre, enfin les fumiers de porcs et de vaches].

Comme on peut le constater, il est possible de produire du **biogaz** supplémentaire si cela est nécessaire. L'incitation à produire plus de biogaz tient au fait que le méthane peut-être utilisé directement comme carburant pour les voitures et les équipements agricoles, après avoir été purifié et compressé.

Les fumiers du bétail sont en fait plutôt méprisés dans les systèmes de récupération du biogaz³⁶. Les matières grasses et les huiles en général sont bien supérieures avec 961 mètres cubes par tonne. Les déchets de panification ne sont pas loin derrière avec 714 mètres cubes (voir le graphique 2). Les déchets de papeterie, qui ne sont inclus dans cette charte, sont également de bons substrats pour produire du biogaz.

Les digesteurs produisant du biogaz constituent certainement la meilleure solution pour obtenir de l'énergie à partir des déchets, plutôt que d'incinérer ces derniers.

Les "**biocarburants**", que le Royaume Unie et d'autres gouvernements soutiennent financièrement, sont aussi un non sens car ils supposent la combustion de biomasse ou la

³⁶ Gannon B. Key elements of biogas energy systems anaerobic digesters. Biogas Energy Systems. http://www.biogas-energy.com/docs_en/BiogasEnergy.pdf

fabrication de l'**éthanol** à partir de maïs et de soja³⁷, notamment avec les surplus de maïs et de soja génétiquement modifiés que Monsanto ne peut pas vendre.

Même la production d'éthanol à partir de déchets agricoles n'est pas soutenable à cause des pertes d'éléments fertilisants irremplaçables et de la génération de polluants.

De la même manière, l'incinération des produits végétaux implique la perte d'éléments nutritifs provenant de ressources minières et qui sont irremplaçables.

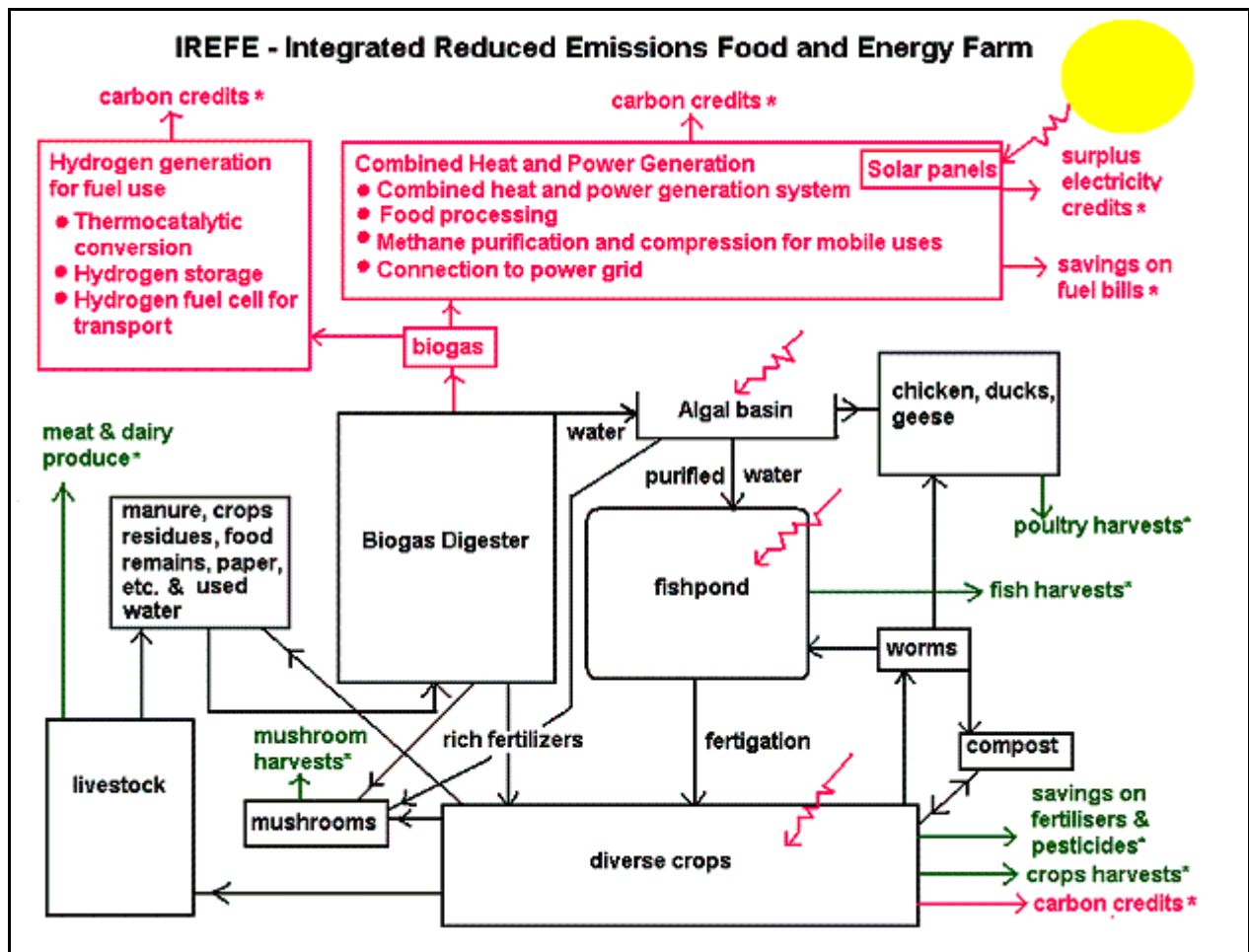
Une exploitation agricole autosuffisante et hautement productive, un centre de recherche et un incubateur pour de nouvelles technologies et de nouvelles idées

Comme il a déjà été mentionné, les nouvelles générations de **panneaux solaires** [*Solar panels*] sont moins coûteux à l'achat, faciles à installer et à entretenir et il n'y a aucune raison de ne pas les inclure comme une technologie centrale pour produire de l'énergie à côté du digesteur producteur de biogaz [*biogas*]. De l'énergie complémentaire sera de toutes façons nécessaire pour le restaurant gastronomique et le laboratoire d'analyses.

Notre approche est de mettre sur pied une ferme moderne qui fait appel aux technologies de base tandis que de plus récentes technologies soient intégrées ou substituées à la périphérie au fil du temps. Comme nous l'avons déjà dit, nous voulons que cette exploitation agricole soit au service de la recherche, de l'éducation et de la formation, et qu'elle serve d'incubateur et de centre de recherche pour de nouvelles technologies, de nouveaux concepts et de nouvelles idées.

Par exemple, la génération combinée de puissance et de chaleur est couramment réalisée en utilisant un moteur à combustion interne, lequel est bruyant et produit des émanations toxiques. L'idéal est d'avoir une génération de puissance et de chaleur à partir d'une cellule de **pile à combustible**.

³⁷ "Forests paying the price for biofuels", Fred Pearce, New Scientist 22 November 2005.
http://www.newscientist.com/article.ns?id=mg18825265.400&feedId=online-news_rss20



.Schéma 3 - Ferme visionnaire version II = Dream Farm II = IREFE
Energy Integrated Reduced Emissions Food and Farm

Les **piles à combustible** sont en théorie efficaces et sans émissions. Une pile à combustible est un générateur d'électricité, à partir d'hydrogène pur et ne produit rien d'autre que de l'eau comme produit secondaire.

Dans la pile à combustible à membrane échangeuse de protons, qui est la plus recommandable pour un emploi au niveau d'une exploitation agricole, une membrane de polymère conductrice de protons sépare les deux électrodes, confectionnées en papier carbone enrobé d'un catalyseur de platine³⁸.

Du côté de l'anode (électrode négative), l'hydrogène se sépare en protons et électrons. Les protons sont conduits, à travers la membrane, vers la cathode (électrode positive) mais les électrons sont dirigés vers un circuit externe pour produire de l'énergie électrique avant de retourner à la pile à combustible vis la cathode. Au catalyseur de la cathode, l'oxygène réagit avec les électrons et il y a combinaison avec les protons avec formation d'eau.

³⁸ Fuel cell. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell

Une pile à combustible convertit l'énergie chimique de son carburant en électricité avec une efficacité d'environ 50%. (Le reste de l'énergie est convertie en chaleur.)

De nouvelles générations de **piles à combustible** en cours de développement peuvent utiliser du **méthane** et le reformater en ion hydrogène à l'intérieur. Une ferme dans le Wisconsin, aux Etats Unis, conduit des expérimentations à partir d'un prototype, mais il n'est pas encore aussi performant qu'un moteur à combustion interne³⁹. Le problème majeur réside dans le fait que le biogaz doit être en grande partie nettoyé préalablement à son emploi pour l'alimentation de la pile à combustible, ce qui aboutit à une perte importante de méthane⁴⁰.

Le méthane peut être purifié de façon moins rigoureuse et comprimé comme carburant pour des usages mobiles : mouvement des voitures et des équipements agricoles. Des voitures roulant au méthane sont disponibles dans quelques pays et deviennent de plus en plus populaires, particulièrement en Suède⁴¹, où des stations services sont ravitaillées en méthane à travers le pays.

Une autre voie consiste à convertir le méthane en hydrogène, avec un haut rendement, en utilisant un nouveau procédé thermocatalytique avec l'aide du rayonnement solaire⁴² et puis d'utiliser ensuite l'hydrogène pour actionner des véhicules. Encore une autre piste consiste à réaliser une digestion en anaérobiose en deux temps : une première phase en conditions légèrement acides optimise la production d'hydrogène, suivie d'une seconde phase en milieu à pH neutre pour la production de méthane⁴³.

Bien que le stockage de l'hydrogène constitue encore un problème, il y a actuellement tout un champ de recherche à mettre en œuvre. Des réservoirs d'hydrogène sont maintenant utilisés pour faire circuler des autobus, à un niveau expérimental, un peu partout à travers le monde, y compris au Royaume-Uni. Mais pour les plus petits véhicules en particulier, l'idéal est de stocker l'hydrogène dans un absorbant solide de poids léger et d'utiliser cela avec une pile à combustible. Il y a également des développements prometteurs dans ces domaines⁴⁴.

Les avantages de la ferme visionnaire, version II

Il est évident qu'en matière d'énergie tout au moins, la ferme visionnaire, version II, ou **IREFE**, n'est pas seulement autosuffisante mais elle peut aussi exporter de l'électricité vers le réseau de distribution. Une partie de cette énergie peut être utilisée pour réchauffer le digesteur anaérobie afin de le faire fonctionner plus efficacement. Le surplus d'électricité peut également servir pour recharger une **voiture hybride au gaz** et à l'électricité.

En ce qui concerne les aliments, le menu est vaste, uniquement limité par l'imagination et le savoir-faire, assez riche pour alimenter un restaurant gastronomique sur le site. Pensons aux

³⁹ Goodrich PR, Huelskamp RJ, Nelson DR, Schmidt D, Morey RV. Emissions from biogas fuelled engine generator compared to a fuel cell. Ms courtesy of Dr. Philip Goodrich, 21 November 2005.

⁴⁰ Personal communication, Dr. Philip Goodrich.

⁴¹ Labyrie P. Le Biogaz, une alternative locale et durable aux hydrocarbures fossils? Presentation at ISIS Dream Farm workshop, Kindersley Centre, Berkshire, UK, 21 January 2006.

⁴² SHEC Labs plans renewable solar hydrogen pilot plant. SHEC Labs press release 1 June 2005, <http://www.shec-labs.com/press/releases/2005Jun1press.php>

⁴³ Ho MW. Bug power. Science in Society 2005, 27, 24-25. <http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

⁴⁴ Ho MW. The hydrogen economy? Forthcoming ISIS report.

ressources qu'offrent les produits de la mer : huîtres fraîches et autres **bivalves**, écrevisses et langoustines, crevettes, carpes argentées et puis encore : champignons, roquette, pois mange-tout, jeunes pousses en salades, betterave orange, pomme de terre bleue ... Il y a là plein de pistes pour la recherche et l'innovation.

Il y certainement avec cela assez de nourriture à disperser dans les villages des alentours, aux écoles, aux maisons de retraite et dans les cités voisines qui seraient fournies et alimentées quotidiennement en produits frais.

En bref, la **ferme visionnaire**, version II ou *Dream Farm II*, représente exactement ce dont nous avons besoin pour nourrir le monde, limiter le changement climatique et permettre à chacun et à chacune de prospérer en bonne forme et dans l'abondance, dans tous les sens du terme, dans le cadre d'une économie qui va devoir prendre en compte l'épuisement des réserves de carburants fossiles.

Malheureusement le gouvernement britannique préfère d'autres solutions pour résoudre la crise énergétique. Il ne réalise pas encore qu'il s'agit aussi d'une crise alimentaire et il reste catégoriquement contre une autosuffisance alimentaire dans le pays. Lorsque j'ai questionné un porte-parole de **DEFRA** au Royaume Uni, sur la politique alimentaire, il m'a été écrit, au nom du Ministre de l'Environnement, Elliot Morley⁴⁵, que "Supporter financièrement une autosuffisance alimentaire plus grande au Royaume Uni est incompatible avec le concept européen du marché unique, dans lequel les différents pays sont spécialisés selon un avantage comparatif. Dans un monde de globalisation croissante, la recherche d'une autosuffisance, dans l'intérêt propre du pays, n'est ni nécessaire ni souhaitable."

La ferme visionnaire et le nouveau paradigme

Ce qui retient mon attention dans le concept de ferme selon George Chan, c'est le fait qu'il démontre concrètement une théorie des organismes que j'avais d'abord présentée dans la seconde édition de mon livre "L'arc en ciel et le ver, la physique des organismes", « *The Rainbow and the Worm, the Physics of Organisms* en anglais, qui a été publié en 1998⁴⁶.

A peu près à la même époque, j'avais proposé que l'on considère les systèmes **soutenables** ou **durables** comme des organismes vivants. Cette idée avait été développée plus amplement dans un article publié avec le théoricien de l'écologie Robert Ulanowicz de l'Université du Maryland, aux Etats-Unis⁴⁷.

Les caractéristiques importantes des systèmes soutenable ou durables sont de même nature que celles du modèle 'zéro-déchet' ou 'zéro-entropie' des organismes vivants et des systèmes soutenable. L'**entropie** est constituée d'énergie dissipée, ou d'énergie gaspillée qui n'est

⁴⁵ Response to open letter on food security, climate change and seed diversity from Sunny Mitra of Defra, dated 18 March 2005. ianpanton@aol.com

⁴⁶ Ho MW. *The Rainbow and The Worm, The Physics of Organisms*, 2nd edition, World Scientific, Singapore, 1998; reprinted 2000, 2001, 2003.

⁴⁷ Ho MW and Ulanowicz R. Sustainable systems as organisms? *BioSystems* 2005, 82, 39-51.

d'aucune utilité pour effectuer un travail et qui va seulement encrasser le système, comme le font les déchets ordinaires.

Le modèle 'zéro-entropie' prédit une croissance et un développement équilibrés, par opposition au modèle économique dominant de la croissance infinie et non soutenable. Ce dernier repose sur le mythe que l'alternative au modèle dominant serait l'absence complète de croissance et de développement.

La clé qui permet aux organismes vivants de survivre et de bien se développer est la même que celle qui permet à un système d'être soutenable. Elle implique que soient maximisées les interactions réciproques, coopératives et en synergie plutôt qu'en compétition, en utilisant les sorties de chacun des cycles pour en alimenter un autre et boucler le cycle complet d'une manière équilibrée. Imaginez seulement si votre foie était en compétition avec votre cerveau ou avec n'importe quel autre organe de votre corps : vous n'en n'auriez pas pour longtemps à vivre ; c'est le cancer en d'autres termes. C'est la même chose avec un **écosystème** ou avec un système économique.

Tentons d'expliquer ces idées à l'aide de quelques schémas évocateurs. Le modèle dominant de la croissance infinie en compétition est représenté dans le schéma 4.

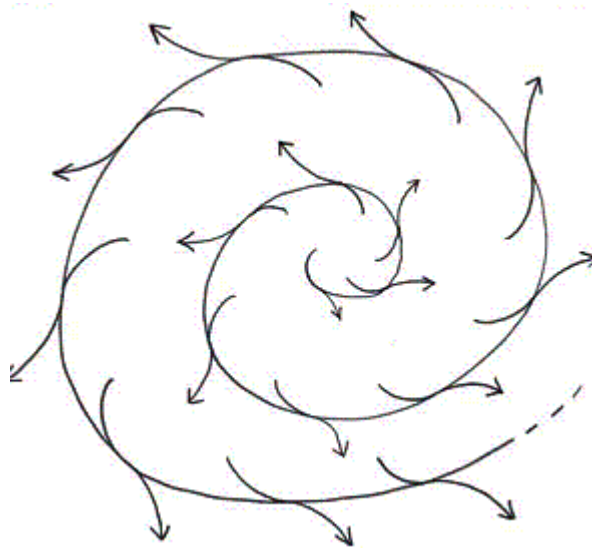


Schéma 4 : Le modèle dominant de la croissance insoutenable et infinie qui engloutit les ressources terrestres et entraîne des quantités massives de déchets et d'entropie

Le système se développe implacablement, engloutissant les ressources terrestres sans limitations, répandant des déchets tout au long de son chemin, comme un ouragan. Il n'y a aucun cycle bouclé qui conserve les ressources en son sein et qui permette la mise en forme de structures organisées, sociales ou écologiques qui restent stables.

En revanche, l'archétype d'un système soutenable est comme un organisme vivant (schéma 5) : il est prêt à croître et à se développer, à construire des structures et à les perpétuer et c'est bien ce qu'est la **soutenabilité**.

La fermeture du cycle crée en même temps une structure stable, une structure autonome qui se maintient, qui se renouvelle et qui est autosuffisante.

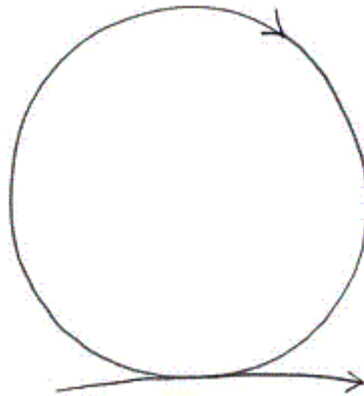


Schéma 5. Le système soutenable boucle le cycle d'utilisation des ressources et de l'énergie, ce qui maximise les intrants internes et le stockage, tout en réduisant les déchets, ressemblant plutôt au cycle vital d'un organisme qui est autonome et autosuffisant.

La description technique d'un équilibre dynamique est le modèle idéal 'zéro-entropie' ou 'zéro-déchet' (schéma 6). Il n'y a pas de déchets ni de désorganisations qui s'accumulent dans le système. Même les déchets exportés vers l'extérieur sont minimisés. Plus nous nous approchons de cet idéal et mieux le système peut croître et se développer.

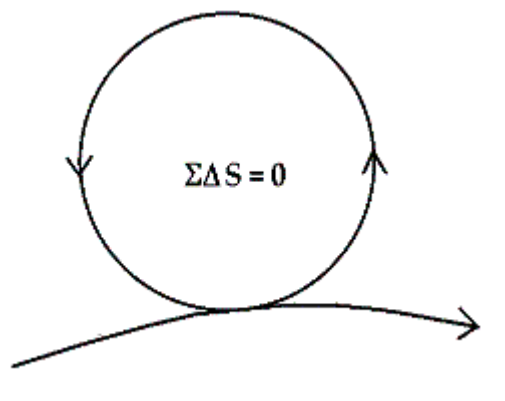


Schéma 6. Le modèle 'zéro-entropie' d'un système soutenable

Le modèle contient plusieurs cycles à l'intérieur, qui s'aident mutuellement à se développer et à prospérer, tels que le minimum de composants intégrés dans la ferme : l'exploitant [farmer], le bétail [livestock] et les cultures][crops] (Schéma 7). L'exploitant va avoir tendance à s'occuper de cultures destinées à nourrir les animaux et à satisfaire ses propres besoins, le bétail renvoie au sol les nutriments qui vont nourrir les plantes. Très de choses sont exportées vers l'environnement ou réduite à l'état de déchets. Le système peut se perpétuer ainsi par lui-même et il peut également s'accroître.

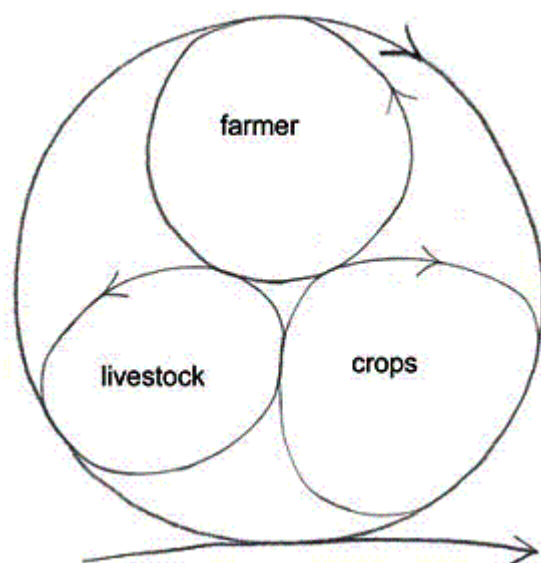


Schéma 7. Système agricole intégré qui ferme le cycle en boucle, minimisant ainsi les intrants et les déchets.

Il peut s'accroître en incorporant plusieurs cycles en son sein, plus d'exploitants ou plus de travailleurs. Plus il y aura de cycles vitaux à l'intérieur du système, et plus la productivité sera élevée (Schéma 8).

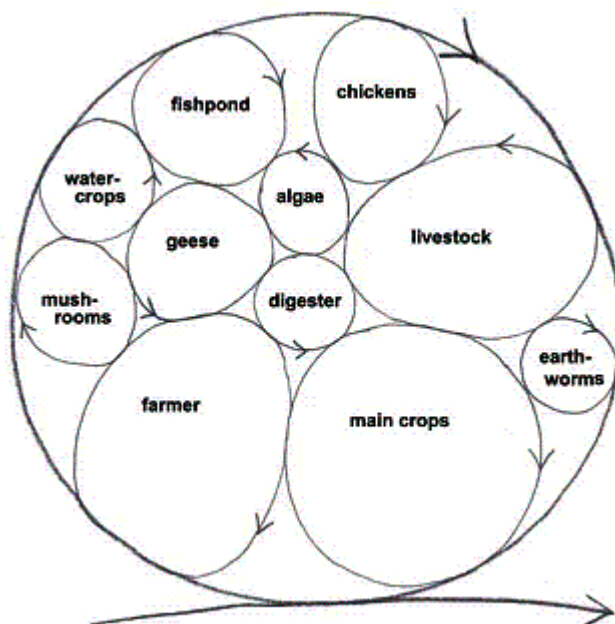


Schéma 8. Augmentation de la productivité en incorporant plus de cycles vitaux dans le système⁴⁸

⁴⁸ Algae = algues ; chickens = poulets ; crops = cultures agricoles ; digester = digesteur ; earthworms = vers de terre ; farmer = exploitant agricole ; fishponds = bassin à poissons ; geese = oies ; livestock = bétail ; mushrooms = champignons comestibles ; watercrops = cultures aquatiques.

C'est pourquoi productivité et diversité marchent *toujours* ensemble. Les monocultures industrielles, au contraire, constituent la plus faible efficacité en terme de produit par unité d'intrant⁴⁹, et la moins productive malgré les intrants importants en provenance de l'extérieur, comme cela a été documenté dans une récente recherche universitaire⁵⁰. Effectivement, les cycles vitaux ne sont pas si nettement séparés : ils sont liés par de nombreuses entrées et sorties [intrants et produits].

Une représentation plus précise (Schéma 9) a été dessinée dans mon livre "*Rainbow and Worm*"⁵¹ qui montre bien comment les processus producteurs d'énergie sont couplés avec ceux qui utilisent cette énergie dans l'organisme vivant. Lorsqu'un processus se réduit progressivement, un autre s'enclenche. Et vice versa par la suite. Ce type de réciprocité fonctionne ainsi en permanence dans notre corps.

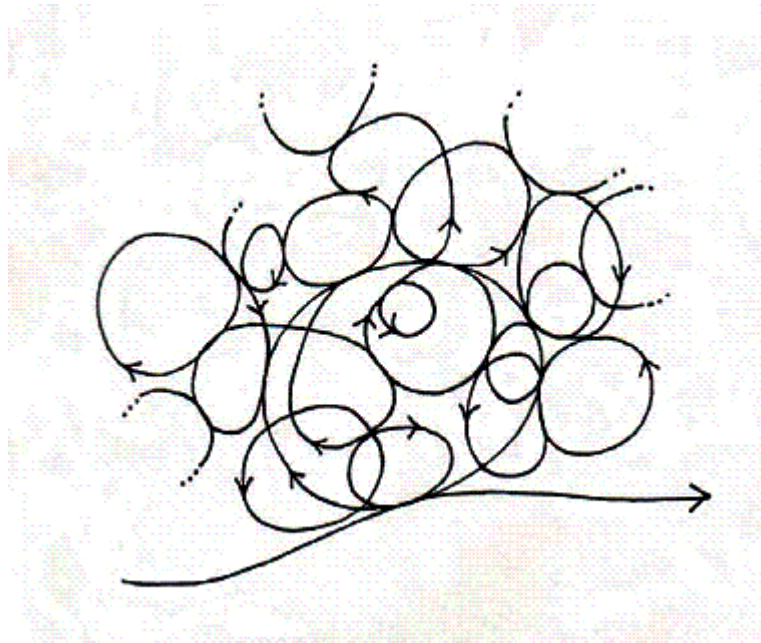


Schéma 9. Beaucoup de cycles vitaux accouplés et plusieurs fois repliés dans un système soutenable hautement productif.

⁴⁹ Ho MW and Ulanowicz R. Sustainable systems as organisms? *BioSystems* 2005, 82, 39-51

⁵⁰ Ho MW. Genetic Engineering Dream or Nightmare? Final chapter, Third World Network, Gateway, Penang & Bath, 1998c; 2 th edition, Gill & Macmillan & Continuum, Dublin & New York, 1999.

⁵¹ Response to open letter on food security, climate change and seed diversity from Sunny Mitra of Defra, dated 18 March 2005. ianpanton@aol.com

Les grandes leçons que nous enseigne la ferme visionnaire

La **ferme visionnaire, version II** nous enseigne quelques grandes leçons. La première est l'importance de la biodiversité, sur laquelle elle est basée. Des générations de paysans ont su de tout temps que la biodiversité et la productivité marchent ensemble ; pas seulement comme une sauvegarde contre les accidents culturels, mais parce que c'est dans la nature des choses de maximiser les interrelations réciproques et en synergie, qui fait que les espèces vivantes prospèrent mieux ensemble.⁵² Récemment, des écologistes universitaires ont découvert la même chose. Des parcelles présentant une biodiversité sont plus productives que des parcelles implantées en monoculture ; et cela s'améliore au fil des années⁵³. Ceci pourrait être la bonne réponse à la question posée par Evelyn Hutchinson, l'une des plus grandes écologistes du siècle passé : Pourquoi y a-t-il tant d'espèces ?

Une autre grande leçon de la ferme visionnaire réside dans le fait que la capacité à supporter d'une parcelle de sol est loin d'être constante. Une ferme visionnaire peut-être 2,3, 10 fois plus productive qu'une ferme exploitée en monoculture : la première crée plus d'emplois et peut supporter plus de monde. Je connais un paysan japonais qui fait vivre sa famille de neuf personnes sur deux hectares, en vendant du riz, des canards à consommer et des petits à élever, et puis encore des paniers de légumes produits en agriculture biologique qui alimentent cent personnes⁵⁴

La controverse autour du contrôle de la population a été quelque peu exagérée par Lester Brown et d'autres auteurs⁵⁵. J'aime l'idée de "capital humain" pour contrer cette discussion. Ce ne sont pas les chiffres de population en soi, mais la criante inégalité des consommations et les déchets émis par une partie des riches dans les pays les plus riches, qui est responsable de la crise actuelle.

Récapitulons :

Un développement soutenable ou une croissance *équilibrée* est réalisée en bouclant le cycle global des productions, puis en utilisant le surplus d'éléments fertilisants et d'énergie pour supporter plus de cycles d'activités, tout en maintenant l'équilibre interne et les niveaux d'autonomie, tout comme le ferait un organisme vivant lors de son développement. Les "déchets" émanant d'une activité productrice est une ressource pour une autre activité : ainsi la productivité est maximisée avec un minimum d'intrants et peu de déchets sont exportés dans l'environnement.

⁵² Tilman D, Reich PB, Knops J, Wedin D, Mielke T and Lehman C. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science* 2001, 294, 843-5.

⁵³ Ho MW. Genetic Engineering Dream or Nightmare? Final chapter, Third World Network, Gateway, Penang & Bath, 1998c; 2th edition, Gill & Macmillan & Continuum, Dublin & New York, 1999.

⁵⁴ Ho MW. Energy, productivity and biodiversity. *Science in Society* 2004, 21, 48-49.
<http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

⁵⁵ Brown L. *Plan B: Rescuing a Planet under Stress and a Civilization in Trouble*, Earth Policy Institute, W.W. Norton & Company, New York, 2003.

Brown L. *Outgrowing the Earth, The Food Security Challenge in an Age of Falling Water Tables and Rising Temperatures*, W.W. Norton & C., New York, 2004

On entend souvent des critiques du modèle dominant disant que le **développement durable** est un **oxymore**. J'ai justement démontré que ça n'est pas le cas. Le développement durable est une alternative au modèle dominant, d'une croissance illimitée et non soutenable. Les mêmes principes s'appliquent au cas d'un écosystème, ou encore d'un système économique qui est nécessairement incrusté à l'intérieur de l'**écosystème** ⁵⁶.

Si l'on considère le système économique inclus de cette manière dans l'écosystème (voir le schéma 10), il apparaît clairement que le système économique doit générer le minimum de déchets pour être soutenable, car si les déchets ne sont pas évacués à l'extérieur, ils reviennent de l'écosystème vers le système économique. Et cela se produit à travers l'instrument monétaire, comme cela est expliqué plus loin

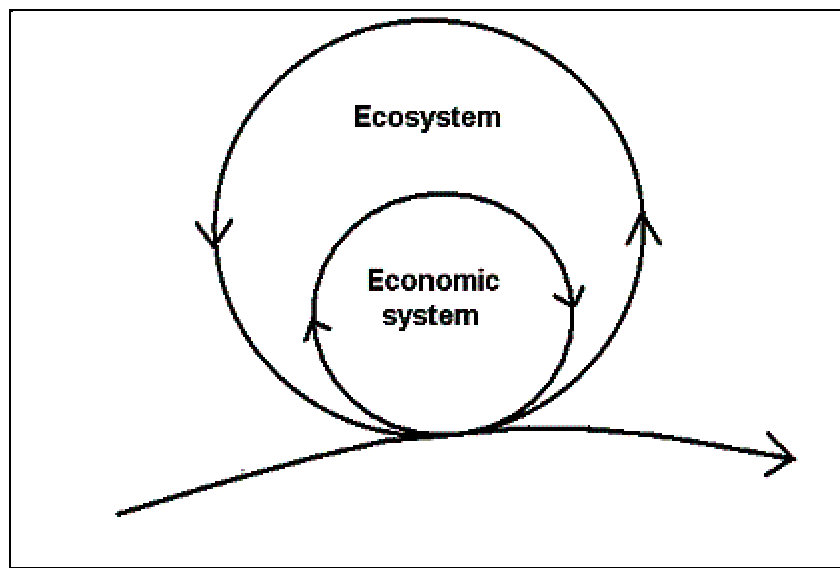


Schéma 10. Le système économique couplé et inclus dans l'écosystème

⁵⁶ Ho MW. One bird ten thousand treasures. Science in Society 2004, 23, 17-18.

<http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

Ho MW. On the nature of sustainable economic systems. World Futures 1997, 51, 199-221.

Monnaie, énergie et entropie

La circulation monétaire, dans les économies mondiales, est souvent comparée à celle de l'énergie dans les systèmes vivants. Cependant, l'argent n'a pas la même valeur partout. Les flux monétaires peuvent être associés à des échanges de réelles valeurs, mais ils peuvent être également associés à du gaspillage et de la dispersion pure et simple. Lorsque le coût des ressources non renouvelables de l'écosystème qui sont consommées ou détruites, n'est pas correctement pris en compte, la charge des déchets se répercute sur l'écosystème.

Mais lorsque le système économique est couplé et dépendant des intrants provenant de l'écosystème, les charges des déchets rejetés vers l'écosystème vont retourner dans le système économique sous forme d'une réduction des intrants, ainsi le système économique s'appauvrit en termes réels. Les transactions des marchés financiers ou monétaires créent une monnaie qui est complètement découplée de sa valeur réelle et c'est de l'entropie pure qui est mise en œuvre dans le système économique.

Cette augmentation artificielle du pouvoir d'achat, conduisant à une surconsommation des ressources de l'écosystème, vont avoir à nouveau comme résultat un appauvrissement du système économique. Les termes inégaux des opérations commerciales imposées par les pays riches du Nord au pays pauvres du Sud, à travers l'Organisation Mondiale du Commerce, sont une autre source importante d'entropie. Cela produit également une inflation artificielle du pouvoir d'achat dans le Nord, d'où il résulte une exploitation encore plus destructive des ressources de l'écosystème terrestre dans le Sud.

Une recherche récente de la Fondation pour une Nouvelle Economie (*NEF*) montre comment l'argent dépensé avec un fournisseur local vaut quatre fois plus que l'argent dépensé avec un fournisseur extérieur et lointain⁵⁷, ce qui confirme mon analyse. Elle apporte son soutien aux devises locales et il suggère de relier directement la monnaie à l'énergie⁵⁸. Elle explique

⁵⁷ Ho MW. Are sustainable economic systems like organisms? In *Evolution, Development and Economics* (P. Koslowski ed.), Springer-Verlag, Berlin, 1998.

⁵⁸ "Buying local worth 400 per cent more" New economics foundation 07.03.05
http://www.neweconomics.org/gen/news_buyinglocalworth400percentmore.aspx

également pourquoi la croissance, en termes monétaires, non seulement n'apporte pas de vrais avantages à la nation, mais finit par l'appauvrir⁵⁹.

Nous avons besoin de quelque chose comme la ferme visionnaire, non seulement pour nourrir le monde, ou pour atténuer le changement climatique ou encore pour avertir de la crise énergétique. Oui, c'est tout cela à la fois, mais c'est encore plus que cela. La plus importante de toutes ces raisons, c'est que nous avons à mobiliser l'ingéniosité et la créativité humaine, afin de nous entraîner pour rêver et pour travailler en vue d'un monde meilleur.

⁵⁹. Darley J. Farm based alternative energy sources. Plenary lecture. Food Security in an Energy-Scarce World, University College, Dublin, 23-25 June 2005.
Douthwaite R. The Growth Illusion: How Economic Growth Has Enriched the Few,

Définitions et compléments

Aérobiose : processus biologique qui se développe en **présence** d'oxygène.

Agriculture biologique : mode de production agricole qui trouve son originalité dans le recours à des pratiques culturales et d'élevage soucieuses du respect des équilibres naturels. Ainsi, elle exclut l'usage des pesticides de synthèse, d'engrais chimiques ou solubles, d'Organismes Génétiquement Modifiés, et elle limite l'emploi d'intrants. La réglementation sur l'étiquetage des produits issus de l'agriculture biologique est très précise et elle classe les produits en plusieurs catégories en fonction de leur teneur en produit bio (pour les produits transformés). En France le logo national AB, marque collective de certification du ministère de l'agriculture, permet d'identifier les produits biologiques et garantit le respect des cahiers des charges bio.

Plus de détails:

www.planetecologie.org/ENCYCLOPEDIE/EnvironQuotidien/7SOCIBIO/4FRABIO/2CHIFFRE/0_0chiffre.htm et www.itab.asso.fr/

La certification du mode de production agricole dite biologique, ainsi que le signe de qualité afférent en France, sont traités sur ce site :

www.agriculture.gouv.fr/spip/ressources.themes.alimentationconsommation.qualitedesproduits.signedequilite

Concernant l'alimentation biologique, l'Union Européenne a émis un nouveau règlement plus clair pour les consommateurs et les agriculteurs et on trouve sur le site suivant les données de l'agriculture biologique au niveau européen et les questions traitant de la réglementation : www.eu.int/comm/agriculture/qual/organic/index_fr.htm

Enfin **l'agriculture biologique** ou *organic farming*, en anglais, est abondamment traitée sur le site trilingue de la **FAO**, l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, accessible par : www.fao.org/organicag/default-f.htm

Anaérobiose : processus biologique qui se développe en l'**absence** d'oxygène. Un organisme ou un mécanisme **anaérobie** n'a pas besoin d'air ou d'oxygène pour fonctionner. Par exemple un digesteur produit du biogaz en anaérobiose. Le muscle a un fonctionnement anaérobie au début de l'excitation (fermentation lactique). Une bactérie anaérobie est une bactérie pour laquelle l'oxygène est toxique (ex. : bactéries du genre *Clostridium*). Information récupérée à partir du site Wikipédia : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Ana%C3%A9robie>

Antioxydant : une substance qui empêche l'oxydation du produit auquel elle est mélangée. D'un point de vue chimique, un antioxydant n'est qu'un composé réducteur : il va donc pouvoir réagir avec un oxydant pour le neutraliser. Les antioxydants vont ainsi réduire les radicaux libres si dangereux pour l'organisme en raison de leur pouvoir oxydant très élevé. Ainsi, les antioxydants présents dans les aliments protègent les molécules organiques, par exemple les graisses ou l'ADN, de l'oxydation et semblent jouer un rôle protecteur contre la cancérogenèse. Pour en savoir plus: fr.wikipedia.org/wiki/Antioxydant

Aquifère : formation géologique souterraine, formée de roches poreuses ou fissurées, dans laquelle l'eau peut s'infiltrer, s'accumuler et circuler; le mot aquifère désigne à la fois le contenant (les roches) et son contenu (l'eau).

Source d'information : www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/glossaire/developp.html

Biocarburants : ce sont des carburants pour moteurs thermiques issus de la biomasse. Ils se substituent partiellement (ou totalement) aux carburants pétroliers, notamment pour faire rouler les véhicules à carburants alternatifs. Les biocarburants obtenus à partir de plantes terrestres résultent principalement de deux filières : la **filière huile**, à partir de colza ou de tournesol, et la **filière alcool**, à partir de la fermentation de sucres de betterave, de blé, de canne à sucre ou de maïs. Pour en savoir plus, on peut se reporter, parmi beaucoup d'autres, au site suivant : r.ekopedia.org/Biocarburant et www.oleocene.org/wiki/index.php?title=Biocarburants

Pour un exposé clair sur les **biocarburants**, consulter la note de Jean-Marc Jancovici "Que pouvons nous espérer des biocarburants ? ", décembre 2004, accessible sur le site : www.manicore.com/documentation/carb_agri.html

Biodiversité : ce terme vient de la contraction de l'expression anglaise "*biological diversity*", soit "diversité biologique". Elle reflète le nombre, la variété et la **diversité** des organismes vivants. Le terme désigne à la fois la diversité au sein des **espèces** [**diversité génétique**], entre les espèces [**diversité d'espèces**] et entre les écosystèmes [**diversité d'écosystèmes**]. La biodiversité est aussi la variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les **écosystèmes** terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques, ainsi que les complexes écologiques dont ils font partie. Source Greenfacts sur le site : www.greenfacts.org/fr/glossaire/abc/biodiversite.htm
On peut lire également la note de Nicolas Hulot intitulée "La diversité, assurance-vie de la planète" qui est accompagnée d'une abondante bibliographie sur la biodiversité, en consultant le site suivant : www.fondation-nicolas-hulot.org/actualite/tribune.php

Biogaz : c'est gaz produit par la fermentation de matières organiques animales ou végétales en l'absence d'oxygène (anaérobiose). Cette fermentation se produit naturellement (dans les marais) ou spontanément dans les décharges contenant des déchets organiques, mais on peut aussi la provoquer artificiellement dans des **digesteurs** (pour traiter des boues d'épuration, des déchets organiques industriels ou agricoles, etc.). Le biogaz est un mélange composé essentiellement de méthane et de gaz carbonique, avec des quantités variables d'eau, d'hydrogène sulfuré (H₂S) et d'oxygène. Il y a trois types de production de biogaz en fonction de la température : 15-25°C = psychrophile, 25-45°C = mésophile et 45-65°C = thermophile. Ce sont les digesteurs mésophiles qui sont les plus utilisés (à 38°C). La récupération du biogaz produit par les décharges est d'autant plus intéressante que le méthane est un gaz à effet de serre bien plus puissant que le dioxyde de carbone (CO₂) produit par sa combustion. Information empruntée à : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Biogaz> . Pour des informations plus détaillées, l'on peut consulter l'excellent site de l' ADEME : http://www.ademe.fr/midi-pyrenees/a_2_18.html

Bivalves : (*Bivalvia*) des mollusques dont la coquille est constituée de deux parties distinctes attachées pouvant s'ouvrir ou se fermer, telles la moule ou l'huître (à l'opposé des gastéropodes qui sont univalves). Source : fr.wikipedia.org/wiki/Bivalve et pour en savoir plus : www.mer-littoral.org/14/bivalves.php

Carburant fossile : Un **carburant** est un produit qui sert à fournir de l'énergie mécanique aux véhicules (*pour les faire rouler*). Les **carburants** s'opposent aux **combustibles** qui servent à fournir de l'énergie thermique (de la chaleur). Un même produit peut bien sûr servir dans les moteurs de voitures en tant que carburant et servir à chauffer la maison en tant que combustible. Les carburants doivent avoir une grande densité énergétique, c'est-à-dire fournir beaucoup d'énergie pour une masse ou un volume donné. Si tel n'était pas le cas, les voitures et autres véhicules devraient aller très fréquemment *faire le plein*. Le carburant est souvent un liquide et parfois un gaz. Il est stocké dans le réservoir des véhicules. Un réservoir de voiture peut généralement contenir 50 litres. Les carburants sont mélangés à l'air et alimentent un moteur. Les carburants peuvent être classés de différentes manières. On peut par exemple distinguer les **carburants fossiles** des **biocarburants**. Les **carburants fossiles** sont ceux qui proviennent de la transformation des matières organiques mortes mélangées à divers minéraux à de grandes profondeurs. Cette transformation nécessite prend plus d'un million d'années et se déroule à des températures et pressions très élevées. Les carburants fossiles sont en quantité limitée sur terre. La diminution future de la production de carburants est traitée dans l'article sur le pic de production [sur Wikipédia]. Les carburants issus du pétrole sont aussi appelés **hydrocarbures**. Les **biocarburants** proviennent de plantes ou animaux (non fossilisés). Parmi les produits développés commercialement, citons le bioéthanol et le biodiesel. Source : fr.wikipedia.org/wiki/Carburant

Carbon Trust : une organisation indépendante à but non lucrative qui a été créée par le gouvernement britannique dans le but d'aider les organismes publics et les affaires privées, afin de réduire leurs émissions de gaz carbonique dans l'atmosphère, en améliorant l'efficacité et en développant des systèmes réduits en carbone.

Changement climatique, réchauffement climatique et effet de serre : certains gaz de l'atmosphère, dont le gaz carbonique (CO₂), agissent en retenant la chaleur autour de la terre. Ce processus est appelé effet de serre. La lumière solaire traverse l'atmosphère et donc l'effet de serre est un phénomène bénéfique et tout à fait indispensable pour assurer la vie sur notre planète. Plus précisément, pour le concept d'**effet de serre**, l'on peut se reporter au site suivant : <http://www.recitus.qc.ca/html/geo/energie/concepts.htm> "L'atmosphère retient (...) la chaleur solaire de la même façon que les parois en matière plastique ou en verre des serres laissent passer la radiation visible, mais retiennent la chaleur. (...) L'effet de serre permet d'équilibrer la température moyenne du globe à un niveau suffisant pour que la majeure partie de l'eau demeure sous forme liquide. Comme la plupart des formes de vie ont absolument besoin d'eau sous forme liquide pendant au moins une partie de leur cycle vital, l'effet de serre est nécessaire au maintien de la vie sur la Terre. "L'expression "**effet de serre**" est souvent confondue avec "**réchauffement**". Mais, il ne faut pas confondre ces deux termes. " L'effet de serre est un phénomène physique propre à la matière. L'homme ne peut modifier le principe de l'effet de serre, mais il contribue, en modifiant la composition de l'atmosphère, à augmenter la quantité d'énergie retenue par elle. C'est pourquoi nous devrions parler de **réchauffement global** de l'atmosphère terrestre, plutôt que d'effet de serre, pour désigner le phénomène de déséquilibre climatique. " (Source : Claude Villeneuve et François Richard, *Vivre les changements climatiques, l'effet de serre expliqué*, Éditions MultiMondes 2001, p. 13-14).

Cultures hydroponiques : il s'agit de la culture de plantes réalisée sans le support d'un sol, dans un courant de solution nutritive qui circule en permanence. Cette **culture hors-sol** connaît un

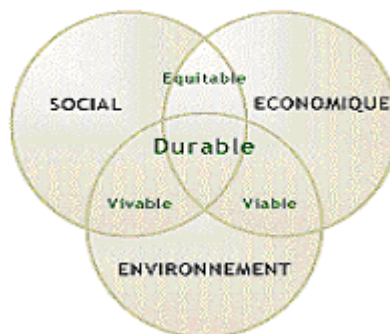
certain essor depuis les années 80 dans les exploitations horticoles intensives (légumières et florales). Ce terme s'applique par extension aux cultures sur substrat neutre et inerte (sable, pouzzolane, boulettes d'argile, mousse de polyuréthane, fibres, laine de roche, etc.), dites aussi cultures hors-sol. Les nutriments essentiels à la plante proviennent alors uniquement du liquide nutritif fourni par une centrale de ferti-irrigation, désormais pilotée par informatique. Ce procédé a de nombreux avantages : moindre consommation d'eau, croissance contrôlée et rapide, moins d'attaque de parasites du sol, meilleure maîtrise de la précocité. La culture hydroponique permet également une automatisation de la culture : température, éclairage, contrôle du pH et de la concentration en éléments nutritifs du liquide, de la ventilation et de l'aération. Ces cultures hydroponiques sont très présentes en horticulture et dans la culture forcée de certains légumes sous serre. Information récupérée sur le site : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Hydroponie>

DEFRA ou *Department for Environment Food and Rural Affairs*, en anglais : administration britannique de l'Environnement, de l'Alimentation et des Affaires Rurales.

Développement durable ou soutenable : se réfère à un mode de développement dont la définition a été formulée à la conférence de Rio de Janeiro en 1992 et qui s'exprime ainsi : « *Le développement durable répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins* ». La notion de **développement durable** ("*sustainable development*" en anglais) a été préalablement définie par l'ONU en 1987 (rapport Brundtland). Le terme "*sustainable*" est aussi traduit par l'adjectif **durable** dans la mesure où le mot **soutenable**, en français, n'implique aucune dimension temporelle.

Le concept de développement durable cherche un équilibre entre l'éthique et l'utilitaire. Ce concept est ambigu, il n'y a pas de consensus autour de lui, ni sur ce qu'il recouvre, et donc pas de consensus sur sa mise en oeuvre. Il s'agit de tenter de concilier les impératifs du développement, plus particulièrement pour les pays du Sud, technologiquement et économiquement en retard, avec les contraintes environnementales au Nord comme au Sud.

La problématique du développement durable est articulée autour du triptyque de la durabilité écologique, de la viabilité économique et de l'équité sociale, que l'on a coutume de représenter ainsi :



La **production alimentaire soutenable**, ou encore l'**Agriculture durable** (également appelée agriculture soutenable) est l'application à l'agriculture des principes du développement durable. La notion d'agriculture durable est précisément et succinctement expliquée sur le site Wikipédia : http://july.fixedreference.org/fr/20040727/wikipedia/Agriculture_durable

A quoi sert le développement durable ? se demandait Jean-Marc Jancovici en 2002, www.manicore.com/documentation/dd.html

Des présentations très pédagogique sont notamment accessibles sur les sites suivants : www.notre-planete.info/ecologie/devdurable/ et www.eduquer-au-developpement-durable.com/

Enfin, pour découvrir une vision élargie, concrète et vivante du **développement durable**, on peut utilement se diriger vers l'**APREIS**, une association loi française 1901, constituant un Laboratoire en réseau coopératif mondial, mobile, nomade et flexible sur plate forme numérique, créé en septembre 2003 et dont la Direction générale et scientifique est assurée par Léo Dayan, Consultant en Ecologie urbaine et Professeur d'économie à l'Université de Paris I Panthéon-Sorbonne à Paris. Accès à ce site incontournable : www.apreis.org/

Durable : se reporter à Développement durable ou soutenable.

Digesteur : c'est un réacteur constitué d'une cuve dans laquelle la matière organique à traiter pour produire du méthane ou du biogaz, est introduite de manière continue ou discontinue. L'installation comprend en outre une régulation de la température et un dispositif de stockage du gaz produit. L'ensemble du processus de méthanisation est notamment bien décrit sur le site suivant : http://www.methanisation.info/processus_bio_methanisation.htm

Ecosystèmes : en écologie, un **écosystème** désigne l'ensemble formé par une association ou communauté d'êtres vivants (ou biocénose), et son environnement géologique, pédologique et atmosphérique (le biotope). Les éléments constituant un écosystème développent un réseau d'interdépendances permettant le maintien et le développement de la vie. Le rapport entre biosphère et écosphère est le même qu'entre communauté et écosystème. Le terme fut défini par Arthur Tansley en 1935. L'écosystème constitue un système naturel et tend à évoluer vers son état le plus stable, dit climax. On parle de régression écologique lorsque le système évolue d'un état vers un état moins stable. Les écosystèmes contiennent des combinaisons d'espèces plus ou moins complexes. La plupart des scientifiques s'accordent à dire que plus de 50% des espèces végétales et animales du globe sont concentrées dans les forêts tropicales. Ces dernières auraient subi de moindres variations climatiques au cours des temps, ce qui aurait permis aux espèces de poursuivre leur évolution sur une longue période. Texte emprunté à Wikipédia sur le site : <http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cosyst%C3%A8me>

Des exemples de faits scientifiques sur la dégradation des écosystèmes sont fournis sur le site suivant : <http://www.greenfacts.org/fr/ecosystemes/index.htm>

Entropie : c'est une grandeur thermodynamique, une quantité physique, mesurable, associée au degré de désordre d'un système macroscopique, ou au manque d'informations sur son état microscopique. Deux définitions de l'entropie peuvent être données selon la source Wikipédia sur le site <http://fr.wikipedia.org/wiki/Entropie> :

L'une est celle de la thermodynamique classique. On la doit à Rudolf Clausius dont l'œuvre s'appuyait sur celles de nombreux devanciers, dont Sadi Carnot.

L'autre est celle de la physique statistique. Elle a été proposée audacieusement par Ludwig Boltzmann.

Plus généralement, l'entropie est aussi une fonction d'état et elle sert à mesurer le degré de désordre dans un système. Un dossier facilement accessible est disponible sur le site : <http://agora.qc.ca/mot.nsf/Dossiers/Entropie> et la notion scientifique d'entropie est notamment développée succinctement sur le site : <http://monjuju.chez.tiscali.fr/entropie.htm>

Ethanol ou **alcool éthylique** c'est un alcool, possédant la structure semi-développée suivante : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$. C'est un liquide incolore, miscible à l'eau en toutes proportions. On l'appelle souvent simplement « alcool », car l'éthanol est l'alcool qui se retrouve dans toutes les boissons alcoolisées. Dans la pharmacopée européenne, **éthanol** désigne l'éthanol absolu alors que alcool Ph. Eur. désigne l'éthanol. Historiquement l'éthanol a été produit par fermentation directe de sucres naturels : la production de vin ou de bière fermentée est attestée dans l'empire babylonien dès 3000 av. J.-C. Les premières obtentions pures sont probablement dues aux alchimistes perses qui développèrent l'art de la distillation au VIII^e et IX^e siècle de l'ère chrétienne. On le fabrique aussi industriellement par hydratation de l'éthylène. L'éthanol est utilisé comme intermédiaire de synthèse dans l'industrie chimique et comme solvant. C'est aussi un désinfectant. En Amérique du Nord, certaines essences disponibles à la pompe peuvent comporter jusqu'à 20% d'éthanol et portent le nom d'« ethanol blend ». Extrait de Wikipédia : fr.wikipedia.org/wiki/Éthanol

Les filières de production du **bioéthanol**, utilisé comme carburant, sont particulièrement bien décrites avec des schémas sur le site suivant : lasen.epfl.ch/page40003.html

Gaz à effet de serre : gaz dont les propriétés physiques sont telles que leur présence dans l'atmosphère terrestre contribue à l'effet de serre (réchauffement) à la surface de la planète. Les principaux gaz à effet de serre sont la vapeur d'eau H_2O , le dioxyde de carbone CO_2 , le **méthane** CH_4 , le **protoxyde d'azote** N_2O et l'ozone stratosphérique O_3 . Les gaz à effet de serre sont générés par les activités humaines industrielles et elles incluent en plus des halocarbones lourds (fluorocarbones chlorés ou CFC), des halocarbures particuliers : perfluorocarbures $\text{C}_n\text{F}_{2n+2}$ et hydrofluorocarbures $\text{C}_n\text{H}_m\text{F}_p$, ainsi que l'hexafluorure de soufre SF_6 , tous visés par le protocole de Kyoto. Les problèmes liés aux gaz à effet de serre sont particulièrement bien traités par Jean-Marc Jancovici sur le site <http://www.manicore.com/documentation/serre/gaz.html>, sur le site de l'association SAGES : <http://sages.free.fr/sages.htm> ainsi que dans l'encyclopédie Wikipédia accessible sur le site : http://fr.wikipedia.org/wiki/Gaz_%C3%A0_effet_de_serre

Gaz carbonique = **CO₂** ou dioxyde de carbone ou anhydride carbonique : c'est un composé chimique composé d'un atome de carbone et de deux atomes d'oxygène, de formule brute **CO₂**. Dans les conditions normales de température et de pression, le CO_2 est un gaz incolore. Il est présent dans l'atmosphère dans une proportion approximativement égale à 0,035 % en volume. Il est produit dans la nature lors de la fermentation aérobie ou lors de la combustion de composés organiques. Il est également produit dans les organismes vivants lors de la respiration, par le métabolisme, principalement lors des décarboxylations. Il est ensuite transporté dans le sang sous

forme de gaz dissous, d'ion bicarbonate ou lié à l'hémoglobine se trouvant dans les érythrocytes. Il est expiré par les poumons. Chez les végétaux chlorophylliens, la photosynthèse piège beaucoup plus de CO₂ que ce que la respiration n'en produit. Pour en savoir plus sur la photosynthèse, l'on peut se reporter notamment au site : http://www2.unil.ch/lpc/images/docu04/illustr_carbfix.htm

Le CO₂ est un gaz à effet de serre. Une présentation simple du sujet est donnée sur le site de Météo France : http://www.meteofrance.com/FR/glossaire/designation/975_curieux_view.jsp ; une autre source plus détaillée est fournie par Wikipédia sur : http://fr.wikipedia.org/wiki/Gaz_carbonique

IREFE = *Integrated Reduced Emissions Food and Energy Farm*, en anglais : ferme intégrée à émissions réduites et avec des fonctions énergétiques et alimentaires

Intrants : ce sont tous les facteurs de production, c'est-à-dire les différents produits qui sont apportés et consommés dans une exploitation agricole et qui sont nécessaire à son fonctionnement : engrais et amendements, pesticides et régulateurs de croissance, semences, plants ou jeunes animaux, produits vétérinaires, carburants et produits d'entretien, etc.

Méthane (CH₄) : c'est un hydrocarbure de la famille des alcanes. Cette molécule possède 1 atome de carbone (C) et 4 atomes d'hydrogène (H). C'est le composant principal du gaz naturel et du biogaz issu de la fermentation de matières organiques animales ou végétales en l'absence d'oxygène. Il est fabriqué par des bactéries méthanogènes qui vivent dans des milieux anaérobiques c'est-à-dire sans oxygène. Le méthane se dégage naturellement des zones humides peu oxygénées comme les marais et les terres inondées. Il se forme aussi dans l'estomac des mammifères. C'est d'ailleurs le gaz principal des flatulences. Des quantités importantes de méthane sont piégées sous forme d'hydrates de méthane au fond des océans. La moitié des émissions de méthane sont dues à des activités humaines. Des informations complémentaires se trouvent sur le site de Wikipédia : <http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thane> et sur celui de l'Agora : <http://agora.qc.ca/mot.nsf/Dossiers/Methane>

Oxymore (parfois oxymoron) : Le terme **oxymoron** provient du grec $\alpha\upsilon\tau\omicron\mu\omicron\rho\varsigma$: *oxumôron* (de $\alpha\upsilon\tau\omicron\varsigma$: *oxus* « aigu, pénétrant » et $\mu\omicron\rho\varsigma$: *môros*, « émoussé, sot »). C'est une figure de rhétorique où deux mots désignant des réalités contradictoires ou fortement contrastées sont étroitement liés par la syntaxe. En exprimant ce qui est inconcevable, le poète crée ainsi une nouvelle réalité poétique, ou l'orateur un effet de surprise. Si certains oxymores (voir les exemples cités plus bas) ont été imaginés pour attirer l'attention du lecteur ou de l'auditeur, d'autres le sont pour créer une catégorie verbale décrivant une réalité qui ne possède pas de nom spécifique. Ce sont les oxymores discrets : étant entrés dans le langage courant, ils sont peu remarqués en tant que tels. Ainsi les noms composés tels que *clair-obscur* ou *aigre-doux*, *doux-amer*, sont nés de l'application de ce procédé. Un procédé grinçant et répandu consiste à affecter de considérer comme oxymore une expression qui ne cherche pas à l'être, par exemple : *musique contemporaine*, *intelligence économique*, *culture américaine*, *art moderne*, *développement durable*, etc. Le mot *antilogie*, encore moins usité, est considéré comme synonyme d'oxymore. Le terme "alliance de mots" est aussi utilisé en synonyme d'oxymore. Extrait du site Wikipédia : fr.wikipedia.org/wiki/Oxymore

Panneaux solaires : un équipement est destiné à récupérer une partie du rayonnement solaire pour le convertir en énergie solaire . On distingue essentiellement deux types de panneaux solaires : les panneaux solaires thermiques qui convertissent la lumière en chaleur (chauffe-eau solaire), d'une part, et les panneaux solaires photovoltaïques qui la convertissent en électricité (panneaux solaires *sensu stricto*). Les panneaux solaires thermiques atteignaient en 2003 des rendements de 60%. Quant aux panneaux photovoltaïques, 1 m² délivre une puissance d'environ 100 à 180 W. Les technologies des panneaux solaires thermiques et voltaïques sont notamment développées sur le site Wikipédia : fr.wikipedia.org/wiki/Panneau_solaire

Une application pédagogique, pratique et concrète, concernant les panneaux solaires a été réalisée par des élèves du Lycée professionnel G.Eiffel à Varennes sur Seine 77130. A consulter www.ac-creteil.fr/Lycees/77/geiffelvarennes/Projets/PanneauSolaire.htm

De son côté, Jean-Marc Jancovici a traité ce sujet dans une note remaniée en avril 2003 et intitulée "Quelles surfaces mobiliser pour recourir massivement à l'énergie solaire ? ". Accessible par : www.manicore.com/documentation/solaire.html

Paradigme : c'est une représentation du monde, une manière de voir les choses, un modèle cohérent de vision du monde basé sur une chose restreinte. Le mot tient son origine du mot grec παράδειγμα (*paradeigma*) qui signifie « modèle » ou « exemple ». Ce mot lui-même vient de παραδεικνύναι (*paradeiknūnai*) qui signifie « démontrer ». Le paradigme au sens collectif est un système de représentations largement accepté dans un domaine particulier. Cela dit, les paradigmes tendent à différer selon les groupes sociaux et à changer dans le temps en fonction de l'évolution des connaissances (cas notamment des paradigmes scientifiques). Extraits du site Wikipédia : fr.wikipedia.org/wiki/Paradigme

Protoxyde d'azote (N₂O) également appelé oxyde nitreux ou monoxyde de diazote : c'est un gaz liquéfié comburant, clair et incolore, à l'odeur douce. Il est stable et inerte à la température ambiante. Il est aussi désigné comme gaz hilarant (ayant un effet euphorisant utilisé dans les foires depuis le XVIII^e siècle). Il a de nombreuses utilisations : en anesthésie (effet anesthésiant découvert par un médecin britannique en 1844 et qui a permis un grand progrès en chirurgie), comme oxydant dans certains moteurs-fusées, dans la fabrication des semi-conducteurs ou encore dans les bonbonnes de crème chantilly. Il peut aussi servir comme comburant de l'acétylène pour certains appareils d'analyses (spectrométrie d'absorption atomique). C'est un puissant gaz à effet de serre qui subsiste longtemps dans l'atmosphère : pendant environ 120 ans. Il est en partie responsable de la destruction de l'ozone. Il est classé comme polluant par le protocole de Kyoto. Toutes les informations utiles concernant le rôle du protoxyde d'azote NO₂ dans l'environnement sont fournies par l'ADEME sur son site :

<http://www.ademe.fr/entreprises/polluants/polluants/polluant.asp?ID=47&o=1>

Phytoplancton (du grec *phyton* ou « plante ») un plancton végétal. Plus précisément il s'agit de l'ensemble des espèces de plancton autotrophes vis-a-vis du carbone (y compris les bactéries telles les cyanobactéries). Quelques exemples de phytoplancton : Cyanobactéries, Diatomées, Dinoflagellés, Coccolithophoridés (entourées de plaques calcaires, leurs ancêtres sont à l'origine de la craie)... Il n'est présent que dans les couches superficielles de la mer (entre 0 et 15 mètres de profondeur) où il accomplit sa photosynthèse. C'est-à-dire qu'il absorbe des sels minéraux et du carbone (sous forme de CO₂) pour rejeter de l'oxygène sous l'effet de la lumière. Le

phytoplancton ne représente que 1 % de la biomasse d'organismes photosynthétiques sur la planète mais assure 45 % de la production primaire (fixation du carbone minéral (CO₂) en carbone organique). Source d'information : fr.wikipedia.org/wiki/Phytoplancton

Pile à combustible : un dispositif où la fabrication de l'électricité se fait grâce à l'oxydation sur une électrode d'un combustible réducteur (par exemple l'hydrogène) couplée à la réduction sur l'autre électrode d'un oxydant, tel que l'oxygène de l'air. La réaction d'oxydation de l'hydrogène est accélérée par un catalyseur qui est généralement du platine. Le fonctionnement d'une telle pile est particulièrement propre puisqu'il ne produit que de l'eau et consomme uniquement des gaz. Schéma d'une pile à combustible à hydrogène :

La pile à combustible fonctionne à l'inverse de l'électrolyse de l'eau. Elle transforme l'énergie chimique en énergie électrique. C'est un générateur. Elle ressemble à une pile ordinaire. Elle possède une cathode et une anode séparées par un électrolyte qui assure entre autres le passage du courant par transfert ionique des charges. Comme une pile classique, elle consomme son oxydant (ici l'oxygène O₂) et son réducteur (ici l'hydrogène H₂). Elle continue de fonctionner tant qu'elle est approvisionnée en hydrogène et oxygène. Le réducteur peut être du méthanol ou du gaz naturel. A l'anode nous avons la réaction suivante: $H_2 \longrightarrow 2H^+ + 2e^-$. Il y a donc production de 2 électrons par molécule d'hydrogène. L'ion H⁺ passe de l'anode à la cathode et provoque un courant électrique par transfert des électrons dans le circuit électrique. A la cathode, les ions H⁺ sont consommés suivant la réaction : $O_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2H_2O$. Les réactions sont rendues possibles par la présence d'un catalyseur de dissociation de la molécule de dihydrogène qui peut être une fine couche de platine divisé sur un support poreux qui constitue l'électrode à hydrogène. Informations provenant su site Wikipédia : fr.wikipedia.org/wiki/Pile_à_combustible

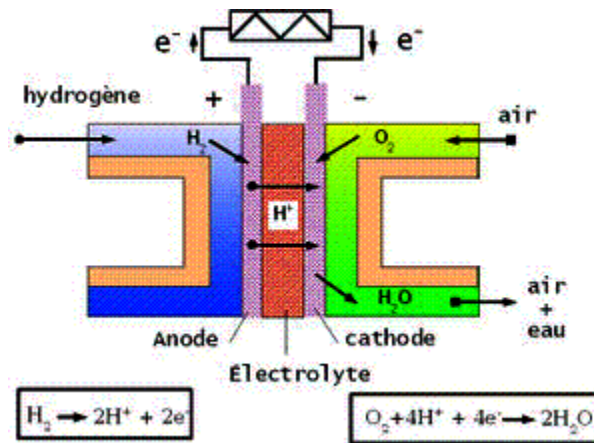


Schéma d'une pile à combustible à hydrogène

Puits de carbone : c'est un [écosystème](#) qui est capable de puiser et de fixer le CO₂ en excès dans l'atmosphère, permettant ainsi de limiter les inconvénients de l'effet de serre. L'augmentation de la végétation tend à absorber le CO₂ présent dans l'atmosphère. L'idée d'une forêt " *puits de*

carbone " n'est valable que pour les phases initiales de croissance d'une forêt. Une forêt mature ou vieillissante, en l'absence de son exploitation raisonnée, rejette à son tour davantage de carbone dans l'atmosphère qu'elle n'en absorbe... Le calcul de l'effet des puits est méthodologiquement complexe et doit encore faire l'objet d'éclaircissements : il est l'objet de débats scientifiques.

Pour de plus amples détails, l'on peut se reporter aux sites suivants qui sont très bien documentés :

<http://www.climat.be/fr/puits.html> : « Les puits de carbone, une porte de sortie ? », 5 avril 2002 et par http://www.fnh.org/francais/faq/effet_serre/puits.htm : « Les puits de carbone ne vont-ils pas absorber le surplus de CO₂ ? » par Jean-Marc Jancovici, septembre 2003.

Séquestration du carbone : captage et stockage du carbone de l'atmosphère dans des **puits de carbone** (comme les océans, les forêts et les sols) par le biais de processus physiques et biologiques tels que la photosynthèse. On cherche à augmenter la séquestration du carbone en implantant de nouvelles forêts, selon GreenFacts sur le site :

<http://www.greenfacts.org/fr/glossaire/pqrs/sequestration-carbone.htm>

Des options de la gestion du sol pour la séquestration du carbone sont indiquées sur le site de la FAO

http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/005/Y2779F/y2779f06.htm

Soutenable : se reporter à la rubrique ci-dessus "Développement durable ou soutenable"

Voiture hybride : un véhicule automobile équipé d'un système de motorisation mixte thermique/électrique et de deux systèmes de stockage d'énergie : un réservoir de carburant et une batterie. L'hybridation n'est d'ailleurs pas limitée à l'essence, puisque l'on peut marier l'électricité avec le diesel, les biocarburants ou encore le **gaz naturel (biogaz)**. De plus, contrairement aux solutions utilisant par exemple de l'hydrogène, le véhicule hybride ne nécessite pas de modifications lourdes des structures de distribution de carburant. Pour en savoir plus sur les moteurs non conventionnels, se reporter au site : www.ifp.fr/IFP/fr/decouvertes/cles/automobile/moteur_non_conv/index.htm

Références bibliographiques :

Ho MW. Dream Farm. *Science in Society* 2005, 27, 26-28. <http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

Ho MW. Is oil running out? *Science in Society* 2005, 5, 50-51. <http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

Key issues and information sources – energy, Sustainable Agri-food production and consumption forum, United Nations Environment Programme. <http://www.agrifood-forum.net/issues/energy.asp>

Horrigan, Leo, Robert S. Lawrence, and Polly Walker. How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture. *Environmental Health Perspectives* Vol 110, 5 May 2002.

A Descriptive Analysis of energy consumption in the agriculture and food sector in Canada, Final Report, February 2000, CAFEDAC. <http://www.usask.ca/agriculture/caedac/pubs/processing.PDF>

Oram JA. A future for farmers? Corporate control in the agrifood system. ISIS Dream Farm Workshop presentation. Kindersley Centre, Berkshire, 21 January 2006.

Gala R. Agriculture without farmers. *Science in Society* 2005, 27, 30-31. <http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

Brown L. *Plan B: Rescuing a Planet under Stress and a Civilization in Trouble*, Earth Policy Institute, W.W. Norton & Company, New York, 2003.

Yield Response to Water, FAO, Rome, 1979, cited in Brown, 2003.

Brown L. *Outgrowing the Earth, The Food Security Challenge in an Age of Falling Water Tables and Rising Temperatures*, W.W. Norton & C., New York, 2004.

Pimental D and Wilson A. World population, agriculture, and malnutrition. Published 2 Jan 2005 by worldWatch/Constructive Creativity. <http://www.energybulletin.net/3834.html>

How much greenhouse gases in our plate? Jean-Marc Jancovici. March 2004 http://www.manicore.com/anglais/documentation_a/greenhouse/plate.html

Peng S, Huang J, Sheehy JE, LazAa RC, Visperas RM, Zhong X, Centeno GS, Khush GS and Cassman KG, Rice yields decline with higher night temperatures from global warming. *PNAS* 2004, 101, 9971-5.

“Internet project forecasts global warming. Biggest-ever climate simulation warns temperatures may rise by 11oC.” Michael Hopkin, New@nature.com published online: 26 January 2005.

Ho MW. The food bubble economy. *Science in Society* 2005, 25, 48-49. <http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

Ho MW. *Genetic Engineering Dream or Nightmare, Turning the Tide on the Brave New World of Bad Science and Big Business*, Third World Network, Gateway Books, MacMillan, Continuum, Penang, Bath, Dublin, New York, 1997, 1998 2nd ed., translated into many languages. Now available in CD <http://www.i-sis.org.uk/onlinestore/av.php>

Chan G. Dream Farms. Effective & economic possibilities in applying ecological engineering means to sustainable agriculture & agribusiness. Presentation at at ISIS Dream Farm workshop, Kindersley Centre, Berkshire, UK, 21 January 2006.

Bunyard P. Energy strategies in global waming: Is nuclear energy the answer? *Science in Society* 2005, 27, 12-15. <http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

Bunyard P. Deconstructing the nuclear power myths. *Science in Society* 2005, 18-19. <http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

IREFE – Integrated Reduced Emissions Food and Energy Farm, Proposal Submitted to UK Carbon Trust, November 2005.

Ho MW. Solar power comes of age series. *ISIS Reports* January 2006; also *Science in Society* 2006, 29 (to appear).

Ho MW and Lim LC. The Case for GM-Free Sustainable World, Independent Science Panel Report, ISIS

Third World Network, London and Penang, 2003; republished GM-Free, Vitalhealth Publishing, Bridgeport, Conn., 2004; translated into Spanish, French, German, Chinese, Portuguese, Dutch. <http://www.i-sis.org.uk/onlinestore/books.php#232>

Philips G. Domestic energy use in the UK. Power conversion, transport and use. Spring 2000 Powerwatch <http://www.powerwatch.org.uk/energy/graham.asp>

The validity of food miles as an indicator of sustainable development Final Report produced for DEFRA by AEA Technology, July 2005. <http://statistics.defra.gov.uk/esg/reports/foodmiles/final.pdf>

Ho MW and Gala R. Food miles and sustainability. *Science in Society* 2005, 28, 38-39.

Labyrie P. Le Biogaz, une alternative locale et durable aux hydrocarbures fossils? Presentation at ISIS Dream Farm workshop, Kindersley Centre, Berkshire, UK, 21 January 2006.

Technical specification of the CHP unit TEDOM Premi S22 AP BIO, 10/2003, CHP Services Ltd (Low Carbon Solutions). <http://www.chp-services.co.uk/>

Gannon B. Key elements of biogas energy systems anaerobic digesters. Biogas Energy Systems. http://www.biogas-energy.com/docs_en/BiogasEnergy.pdf

“Forests paying the price for biofuels”, Fred Pearce, *New Scientist* 22 November 2005. http://www.newscientist.com/article.ns?id=mg18825265.400&feedId=online-news_rss20

Goodrich PR, Huelskamp RJ, Nelson DR, Schmidt D, Morey RV. Emissions from biogas fuelled engine generator compared to a fuel cell. Ms courtesy of Dr. Philip Goodrich, 21 November 2005.

SHEC Labs plans renewable solar hydrogen pilot plant. SHEC Labs press release 1 June 2005, <http://www.shec-labs.com/press/releases/2005Jun1press.php>

Ho MW. Bug power. *Science in Society* 2005, 27, 24-25. <http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

Ho MW. The hydrogen economy? Forthcoming ISIS report.

Ho MW. *The Rainbow and The Worm, The Physics of Organisms*, 2nd edition, World Scientific, Singapore, 1998; reprinted 2000, 2001, 2003.

Ho MW and Ulanowicz R. Sustainable systems as organisms? *BioSystems* 2005, 82, 39-51.

Ho MW. *Genetic Engineering Dream or Nightmare?* Final chapter, Third World Network, Gateway, Penang & Bath, 1998c; 2th edition, Gill & Macmillan & Continuum, Dublin & New York, 1999.

Tilman D, Reich PB, Knops J, Wedin D, Mielke T and Lehman C. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science* 2001, 294, 843-5.

Ho MW. Energy, productivity and biodiversity. *Science in Society* 2004, 21, 48-49.
<http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

Ho MW. One bird ten thousand treasures. *Science in Society* 2004, 23, 17-18.
<http://www.i-sis.org.uk/isisnews.php>

Ho MW. On the nature of sustainable economic systems. *World Futures* 1997, 51, 199-221.

Ho MW. Are sustainable economic systems like organisms? In *Evolution, Development and Economics* (P. Koslowski ed.), Springer-Verlag, Berlin, 1998.

Darley J. Farm based alternative energy sources. Plenary lecture. *Food Security in an Energy-Scarce World*, University College, Dublin, 23-25 June 2005.

Douthwaite R. *The Growth Illusion: How Economic Growth Has Enriched the Few, Impoverished the Many and Endangered the Planet*. Green Books, Dartington, 1999.

Growth The Celtic Cancer, *Festa Review* number 2, The Foundation for the Economics of Sustainability, Dublin, 2004.