



AgEcon SEARCH

RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

Crise de l'énergie, ressources naturelles et production alimentaire

F. Ramade

Citer ce document / Cite this document :

Ramade F. Crise de l'énergie, ressources naturelles et production alimentaire. In: Économie rurale. N°124, 1978. Ecologie et société - Première partie. pp. 30-38;

doi : <https://doi.org/10.3406/ecoru.1978.2553>

https://www.persee.fr/doc/ecoru_0013-0559_1978_num_124_1_2553

Fichier pdf généré le 08/05/2018

Résumé

Les effets conjugués de la croissance démographique et de la compétition des usages non agricoles des sols avec l'agriculture ne laissent comme seule solution, qu'une intensification incessante de la production afin de répondre aux besoins alimentaires croissants de l'humanité.

L'analyse écoénergétique de l'agriculture industrielle montre que les augmentations de productivité ont été jusqu'alors obtenues en injectant une quantité croissante d'énergie provenant des combustibles fossiles dans les agroécosystèmes. En conséquence, le rendement énergétique des cultures (Kcal d'aliments produits par Kcal d'énergie consommées pour la production) décroît sans cesse. Par ailleurs, les disponibilités mondiales d'engrais phosphatés sont limitées et les hydrocarbures fossiles se raréfient. L'augmentation incessante du prix de l'énergie et des engrais minéraux utilisés en agriculture rendent problématiques dans l'avenir le maintien des structures actuelles de production alimentaire et rendent problématiques la production de nourriture pour une humanité qui atteindrait dix milliards d'hommes.

Abstract

The energy crisis, national resources and food production - The only solution to the joint effects of population growth and of the competition between non-agricultural uses of land and farming is an increasing intensification of production in order to satisfy mankind's increasing food needs.

The eco-energy analysis of industrial farming shows that increased productivity so far has been achieved by injecting an ever greater quantity of energy from fissile fuel into agroecosystems. Consequently the energy productivity of crops (kcal of foodstuffs produced per kcal of energy used in its production) is decreasing. Moreover, world supplies of phosphate fertilizers are limited and fossilized hydrocarbon is becoming rarer. The constant increase in the cost of energy and of mineral fertilizers used in farming make it unlikely that the present food production structures will be maintained in the future or that food can be produced for a world population of ten billions.

Crise de l'énergie, ressources naturelles et protection alimentaire

F. RAMADE

Professeur de Zoologie et d'Ecologie à l'Université
de Paris-Sud *

Les effets conjugués de la croissance démographique et de la compétition des usages non agricoles des sols avec l'agriculture ne laissent comme seule solution, qu'une intensification incessante de la production afin de répondre aux besoins alimentaires croissants de l'humanité.

L'analyse écoénergétique de l'agriculture industrielle montre que les augmentations de productivité ont été jusqu'alors obtenues en injectant une quantité croissante d'énergie provenant des combustibles fossiles dans les agroécosystèmes. En conséquence, le rendement énergétique des cultures (Kcal d'aliments produits par Kcal d'énergie consommées pour la production) décroît sans cesse. Par ailleurs, les disponibilités mondiales d'engrais phosphatés sont limitées et les hydrocarbures fossiles se raréfient. L'augmentation incessante du prix de l'énergie et des engrais minéraux utilisés en agriculture rendent problématiques dans l'avenir le maintien des structures actuelles de production alimentaire et rendent problématiques la production de nourriture pour une humanité qui atteindrait dix milliards d'hommes.

THE ENERGY CRISIS, NATIONAL RESOURCES AND FOOD PRODUCTION

The only solution to the joint effects of population growth and of the competition between non-agricultural uses of land and farming is an increasing intensification of production in order to satisfy mankind's increasing food needs.

The eco-energy analysis of industrial farming shows that increased productivity so far has been achieved by injecting an ever greater quantity of energy from fissile fuel into agroecosystems. Consequently the energy productivity of crops (kcal of foodstuffs produced per kcal of energy used in its production) is decreasing. Moreover, world supplies of phosphate fertilizers are limited and fossilized hydrocarbon is becoming rarer. The constant increase in the cost of energy and of mineral fertilizers used in farming make it unlikely that the present food production structures will be maintained in the future or that food can be produced for a world population of ten billions.

L'humanité compte déjà plus de quatre milliards d'individus. Cet effectif doublera selon toute vraisemblance au cours des 35 prochaines années, soit en la durée moyenne d'une seule génération.

Il est assez évident de ce fait que le simple maintien de la disponibilité alimentaire actuelle *per capita*, cependant insuffisante à l'échelon global, implique un accroissement de la valeur absolue de la production agricole, en ce laps de temps, d'un montant égal à celle qu'elle a mis 10.000 ans pour atteindre. En effet, l'augmentation exponentielle de la production agricole est une contrepartie obligatoire de la croissance exponentielle des effectifs humains.

Accroître la production agricole d'une telle quantité, dans un aussi faible intervalle de temps — tout au plus trois décennies — si l'on veut améliorer la situation actuelle de l'alimentation mondiale dans un tel contexte de croissance des effectifs, constitue le plus fantastique défi auquel la civilisation contemporaine se trouve confronté.

Quels peuvent être les principaux paramètres écologiques qui conditionnent, dans un sens ou dans l'autre, cet accroissement de la production agricole globale ? La production des agroécosystèmes, conformément aux grandes lois synécologiques, est contrôlée en premier lieu par trois grands types de facteurs abiotiques : l'espace, l'énergie, les éléments minéraux nutritifs. Dans quelles limites peut jouer la technologie actuelle sur ces facteurs, dans le but d'augmenter les rendements et la production agricole ?

L'ESPACE

Il n'est plus possible, aujourd'hui d'augmenter de façon significative la production alimentaire mondiale par une extension de la superficie des terres en culture.

* Université de Paris-Sud, 91405 Orsay.

Si l'on tient compte de l'ensemble des données pédologiques et biologiques disponibles sur les écosystèmes non encore « mis en valeur » par l'homme, on constate que dans leur immense majorité, les sols cultivables ont déjà été défrichés et sont même exploités depuis longtemps. Pratiquement plus aucun biotope nouveau ne pourrait être mis en culture voire utilisé pour un élevage extensif sur l'ensemble des continents habités.

Bien au contraire, la récente conférence de Nairobi a une fois de plus souligné qu'une fraction importante des écosystèmes steppiques, actuellement utilisés comme terrains de parcours pour les troupeaux, devrait être mise au plus vite en défend si l'on veut éviter leur désertification à très court terme !

De même, la mise en culture céréalière de tels milieux fait planer des risques terribles sur la stabilité des sols comme on a pu le constater dans les « Dust bowl » nord-américains voici quelques décennies et en date plus récente après le défrichement des terres vierges du Kazakhstan, Asie centrale.

Nous ne nous étendrons pas non plus sur les conséquences catastrophiques provoquées par la destruction des forêts ombrophiles tropicales d'Afrique, d'Asie du Sud-Est et de l'Amazonie.

En conclusion, il est parfaitement illusoire et même dangereux de suggérer une augmentation de la production alimentaire globale par une extension des superficies cultivées. Depuis longtemps, les écosystèmes pouvant supporter la défriche ont été mis en valeur et toute nouvelle transformation de forêts ou de steppes conduirait à leur destruction irréversible sans aucun profit, même dans le moyen terme pour l'humanité.

L'ENERGIE

La seule possibilité d'accroître la production agricole mondiale tient donc en une augmentation de la productivité des agroécosystèmes.

Celle-ci dépend directement de deux groupes de paramètres :

1. ceux qui conditionnent la disponibilité en énergie,
2. ceux qui conditionnent le cycle de la matière dans les agroécosystèmes, c'est-à-dire la disponibilité en eau et en sels minéraux nutritifs.

1. L'évolution de la consommation énergétique dans les agroécosystèmes

Le flux de l'énergie contrôle directement la productivité de la biosphère et les agroécosystèmes n'échappent pas à cette contingence, malgré une opinion bizarrement répandue chez le profane.

Autrement dit, la quantité de nourriture disponible *per capita* est en premier lieu sous la dépendance de la proportion du flux d'énergie propre à chaque écosystème que l'homme détourne à son profit pour répondre à ses besoins alimentaires.

L'Histoire de l'Humanité de ses origines à nos jours se caractérise par la recherche incessante et par le développement de nouvelles technologies qui ont permis un accroissement ininterrompu du flux énergétique propre à « l'écosystème » humain. Songeons aux quelque 250.000 Kcal/personne et par jour dont dispose tout habitant des pays développés par opposition aux 3.000 Kcal/p/j du chasseur paléolithique !

L'apparition de l'agriculture, elle-même, et le progrès des technologies agricoles, sont aussi le reflet du besoin d'accroître cette quantité d'énergie nécessaire pour répondre aux besoins alimentaires d'une humanité en expansion démographique.

Les effectifs et donc la densité des populations humaines sont nécessairement très réduits dans une société paléolithique. En effet, l'homme ne peut espérer au mieux disposer que de 6 kg/ha/an de protéines utilisables pour son alimentation, lorsqu'il exploite un écosystème naturel. Encore s'agit-il du cas le plus favorable (Slessor, 1975). On concevra bien, dans ces conditions que la densité moyenne d'une population paléolithique soit de 0,1 habitant/km² et qu'elle n'excède en aucun cas 1 ha/km².

La révolution néolithique a permis à l'homme d'accroître la quantité d'énergie disponible pour son système alimentaire, en définitive d'obtenir une production primaire utilisable plus importante, donc de nourrir des effectifs plus grands.

En réalité, la culture de quelques espèces végétales bien adaptées aux besoins alimentaires de notre espèce n'est qu'un moyen technologique de détourner à son profit une fraction plus importante du flux solaire converti en énergie primaire par les diverses espèces de plantes vertes peuplant les écosystèmes naturels.

Notons, toutefois que le flux global de l'énergie dans l'écosystème humain néolithique n'était pas perturbé puisqu'il n'y avait aucun apport artificiel, exogène, en dehors du flux solaire.

Il n'en est plus de même dans la civilisation technologique contemporaine. Celle-ci a fait croître de façon spectaculaire les rendements des agroécosystèmes, au cours des dernières décennies, par un usage accru d'énergie artificielle, potentielle, lié à une augmentation incessante de la consommation des combustibles fossiles.

Comme l'a écrit fort à propos H.T. Odum (1970), « la cruelle illusion de la civilisation technologique a été de ne pas comprendre les moyens variés par lesquels les diverses formes d'énergie pénètrent dans le système complexe qui caractérise le fonctionnement de la société industrielle... La grande erreur de l'homme industriel fut de croire que l'augmentation des rendements agricoles était due à l'acquisition d'un nouveau savoir-faire dans l'emploi du soleil... c'était illusion car l'homme industriel ne consomme plus des pommes de terre produites seulement par la photosynthèse, il mange maintenant des pommes de terre partiellement faites de pétrole ».

A l'heure actuelle, la consommation d'énergie propre

aux systèmes alimentaires des pays industrialisés est très considérable. Aux Etats-Unis, le secteur agro-alimentaire absorbe à lui seul de nos jours une quantité d'énergie nettement supérieure à la consommation totale

de l'Inde qui compte quelque 650×10^6 habitants !

Le tableau 1 permet d'évaluer la part du bilan énergétique du secteur agro-alimentaire de quelques pays développés.

Tableau 1. — *Consommation d'énergie propre au système alimentaire de quelques pays industrialisés (Slessor, 1975)*

Pays	Année	Consommation d'énergie			Rendement *	% total de la consommation nationale d'énergie
		par la production agricole (en 10^{15} J)	de la ferme à l'assiette du consommateur (en 10^{15} J)	Total annuel (en 10^{15} J)		
Etats-Unis	1963	2.310	4.125	6.435	1/6,4	12
Grande-Bretagne	1972	340	300	646	1/6,5	10
Australie	1969	87	121	208	1/0,3	10
Israël	1969	33	ND	ND	1/1,5	20
RFA	1960	102	386	488	ND	12

* Le rendement ou taux de conversion est le rapport entre la qualité d'énergie biochimique, métabolisable, contenue dans la ration du consommateur et la quantité totale d'énergie (chaleur de combustion) des combustibles fossiles qui ont été nécessaires pour la produire et la conditionner.

ND = non déterminé.

La lecture de ce tableau montre que le système alimentaire des pays développés est des plus énergivores puisqu'il correspond en règle générale à au moins 10 % de leur consommation totale d'énergie primaire.

Aujourd'hui, le contenu énergétique provenant de la conversion photosynthétique de l'énergie solaire est devenu minoritaire par rapport à la part d'énergie potentielle — provenant à l'heure actuelle des combustibles

fossiles, demain des centrales nucléaires (via par exemple le chauffage des serres avec les basses calories) — « incorporée » aux aliments.

Supposons que la ration moyenne des Français soit de 3.000 Kcal par jour et que le rendement de notre système alimentaire soit le même qu'en Grande-Bretagne (1/6,4). Il est facile de calculer sur cette base que nous-mêmes, en France, « mangeons » quelque 31 millions de tonnes d'équivalent pétrole par an.

Tableau 2. — *Bilan énergétique en Kcal/ha de la culture du maïs aux Etats-Unis*

Entrées	Dates		
	1945	1959	1970
Travail humain	30.900	18.800	12.100
Machinisme	444.900	865.000	1.038.000
Carburant	1.343.000	1.789.400	1.970.000
Engrais azotés	145.300	850.000	2.325.000
Engrais phosphatés	26.200	60.000	116.000
Engrais potassiques	12.800	149.000	168.000
Semences	84.000	90.200	155.700
Irrigation	47.000	76.600	84.000
Insecticides	—	19.000	27.200
Herbicides	—	6.900	27.200
Séchage	24.700	247.000	296.000
Electricité	79.100	346.000	766.000
Transport sur rails	49.400	148.300	173.000
Total des entrées	2.280.000	4.669.300	7.715.000
Rendement du maïs	8.470.000	13.453.300	20.170.000
Rapport Kcal produites Kcal consommées	3,71	2,88	2,82

En 1970, la consommation d'énergie nécessaire pour cultiver un hectare de maïs atteignait $7,15 \times 10^6$ Kcal.

Il s'ensuit que le rendement énergétique de la culture (Rapport : $\frac{\text{Kcal produites}}{\text{Kcal consommées}}$) a effectivement baissé de 3,7 à 2,82 de 1945 à 1970.

La part de la consommation énergétique du système alimentaire dans le bilan global croît également dans les pays industrialisés. Ce phénomène est non moins significatif, sur les plans écologiques et socio-économiques, que la croissance en valeur absolue de la quantité d'énergie nécessaire à la production agricole. Celle-ci atteignait aux Etats-Unis 20 % au total selon Steinhart et Steinhart (1974) dans la première moitié de cette décennie, contre 12 % en 1963 (tableau 3).

Le bilan de la culture du maïs (Pimentel et coll., 1973) apporte une estimation quantitative très précise de cette évolution (tableau 2).

Tant au niveau des exploitations agricoles qu'en aval de ces dernières (industries alimentaires et distribution des aliments), on constate que les substitutions de techniques opérées depuis 1945 ont systématiquement conduit à remplacer des procédés peu coûteux en énergie par d'autres beaucoup plus énergivores.

Le tableau 2 montre par exemple que dans la culture du maïs, la seule consommation d'énergie liée à l'emploi d'engrais azotés est passée de 145.300 Kcal/ha en 1945 à 2.325.000 Kcal/ha en 1970. Entre ces deux dates, la consommation totale d'énergie par ha est passée de $7,15 \times 10^6$ Kcal à $20,17 \times 10^6$ Kcal pour cette culture.

De nouvelles techniques de culture, comme le « Central pivot irrigation system », permettant de faire croître cette plante en zones semi-arides (Nebraska occidental par exemple), ont conduit à des records de consommation énergétique à l'ha.

A fortiori, la prise en compte depuis l'amont des exploitations (industries des tracteurs, des pesticides par exemple) des besoins énergétiques du système alimentaire, comme l'ont fait Steinhart et Steinhart (tableau 3) montre une croissance très importante de la consommation globale d'énergie propre à ce dernier.

Tableau 3. — Evolution de la consommation d'énergie par le système alimentaire américain (valeurs exprimées en 10^{12} Kcal)

ACTIVITÉ	1940	1954	1970
EXPLOITATIONS			
Carburant	70,0	172,8	232,0
Electricité	0,7	40,0	63,8
Engrais	12,4	30,6	94,0
Machinisme agricole	23,4	55,4	101,3
Irrigation	18	29,6	35
Sous-total	124,5	328,6	526,1
INDUSTRIES ALIMENTAIRES			
Activités de transformation des produits	147,7	216,4	314,0
Emballages papier	8,5	20,0	38,0
Emballages verre	14,0	27,0	47,0
Fer et aluminium	38,0	73,7	122,0
Transport (carburant)	49,6	122,3	246,9
Transport (engins)	28	47,0	74,0
Sous-total	285,8	506,4	841,9
COMMERCIALES ET DOMESTIQUES			
Réfrigération et cuisson commerciales	121,0	161,0	263,0
Machines correspondantes	10,0	27,5	61,0
Réfrigération et cuisson domestiques	144,2	228,0	480,0
Sous-total	275,2	416,5	804,0
Total général	685,5	1.251,5	2.172,0

d'après Steinhart et Steinhart, 1974

La lecture du tableau 3 montre que la consommation énergétique globale du système alimentaire américain est passée de $685,5 \times 10^{12}$ Kcal en 1940 à 2.172×10^{12} Kcal en 1970. Encore les Steinhart précisent-ils qu'ils n'ont pas pris en considération les investissements énergétiques indirects liés au système de transport et de distribution des aliments.

2. Diminution des rendements énergétiques

Un paramètre très important pour l'analyse du flux de l'énergie dans les écosystèmes est constitué par le rapport de la quantité de Kcal produites (sous forme d'aliment consommable) par une culture (par hectares et par an) et de la quantité totale de Kcal nécessaire à la réalisation de cette culture.

Tableau 4. — Analyse du bilan énergétique de divers types de culture ayant servi à établir la relation des rendements énergétiques exprimés en fonction de l'énergie auxiliaire introduite

Niveaux d'industrialisation	Culture	Zone	Date	N de code sur les figures 2 et 3
I	Légumes	Nlle-Guinée	1962	2
II	Riz irrigué	Philippines	1970	1
III	Maïs grain	Iowa	1915	3
	Maïs grain	Pennsylvanie	1915	4
	Maïs fourrage	Iowa	1915	5
IV	Luzerne	Missouri	1970	6
	Orge	Minnesota	1970	7
	Sorgho	Kansas	1970	8
	Soja	Missouri	1970	9
	Canne à sucre (sans conditionnement)	Hawaï	1970	10
	Canne à sucre (avec conditionnement)	Hawaï	1970	10 ¹
	Maïs grain	Illinois	1969	11
	Maïs silo	Iowa	1969	12
	Betterave à sucre (sans conditionnement)	Californie	1970	13
IV	Betterave à sucre (avec conditionnement)	Californie	1970	13 ¹
	Arachide	Caroline du Nord	1970	14
	Riz irrigué	Louisiane	1970	15
	Blé d'hiver	Montana	1970	16
	Pomme de terre	Maine	1968	17

D'après Heichel in Slessor, 1975.

Ce rapport quantité de Kcal produites / quantité de Kcal consommées, à l'opposé des rendements par hectare n'a fait que décroître au fur et à mesure de l'industrialisation de l'agriculture.

Pour le maïs, ce dernier est passé, selon Pimentel et coll., de 3,71 en 1945 à 2,82 en 1970.

On a pu calculer que la quantité d'énergie nécessaire pour produire 1 Kcal de maïs dans les exploitations agricoles de l'Iowa est aujourd'hui 11 fois supérieure à celle utilisée en 1910 !

Plusieurs auteurs ont établi des diagrammes donnant les variations de rendement énergétique des cultures en fonction de la quantité d'énergie auxiliaire (et autre que le flux solaire) introduite.

La figure 2 représente la variation de ce rendement énergétique pour divers types de culture énumérés dans le tableau 4.

L'examen de la figure 2 montre que le rendement de 14 mégacalories par hectare d'énergie digestible obtenu par les agriculteurs primitifs — de type néolithique — de Nouvelle Guinée n'est pas inférieur à celui des cultivateurs de maïs de l'Iowa en 1915. Fait plus surprenant encore, cette figure révèle qu'au-delà d'un optimum situé au niveau de 60 GJ/ha d'énergie

auxiliaire introduite, le rendement en énergie digestible diminue !

La figure 3 constitue un autre mode de représentation des données précédentes. Le diagramme exprime la variation du rendement énergétique relatif (Kcal digestibles produites / Kcal consommées) en fonction de l'énergie artificielle introduite dans la culture. Cette figure montre que le rendement énergétique relatif décroît de façon continue, en fonction de l'énergie auxiliaire utilisée, selon une loi hyperbolique.

En définitive, la pérennité d'une agriculture fondée sur les structures de productions qui lui sont propres, à l'heure actuelle, dans les pays développés exige — et c'est une condition impérative — la disponibilité d'un approvisionnement en énergie inépuisable et bon marché.

En effet, il n'est pas exagéré de dire que la principale matière première de l'agriculture moderne n'est plus le sol mais le pétrole et ses dérivés !

Nous craignons dans de telles conditions que la rarefaction inéluctable des sources d'énergie classique, ne constitue dans le long terme un obstacle insurmontable à la progression, voire au maintien, de la production alimentaire mondiale qu'exige la démographie humaine !

Aujourd'hui, la nourriture de chaque citoyen améri-

cain requiert 0,566 ha et 0,425 TEP/an. Comme la population mondiale compte à l'heure actuelle environ $4,1 \times 10^9$ individus, elle nécessiterait la consommation de $1,75 \times 10^9$ TEP/an si l'on devait la nourrir selon les normes américaines — objectif avoué et non critiquable des responsables des pays en voie de développement.

Dans de telles conditions, si le pétrole constituait la seule source d'énergie utilisée en agriculture et si toutes les réserves existantes servaient uniquement à nourrir la population mondiale selon les méthodes nord-américaines, elles seraient épuisées en 57 ans, en tenant compte de la centaine de milliards de tonnes de réserves prouvées à l'heure actuelle. Un calcul similaire effectué à partir de l'estimation la plus optimiste des réserves disponibles (et encore à découvrir), soit 300×10^9 t, nous donnerait 170 ans.

En réalité, ce genre d'évaluation est des plus utopiques :

— on ne peut en aucune façon utiliser tout le pétrole extrait à la production alimentaire.

— si l'effectif de l'humanité se stabilise à 12×10^9 individus, dans l'hypothèse d'une mise en œuvre d'un programme mondial de limitation des naissances, effectif qui paraît le plus probable selon les travaux de Frejka (1973), on voit que les ressources pétrolières globales seraient épuisées en une cinquantaine d'années pour nourrir une telle population.

En conclusion, le développement d'une agriculture industrialisée, grande consommatrice d'énergie potentielle, n'est pas du tout assuré pour l'avenir. Dans le cas où les structures de production de type américain se généraliseraient, elles feraient planer à long terme un risque de pénurie alimentaire généralisée à la suite d'un épuisement des sources d'énergies disponibles.

Le maintien dans l'avenir de telles structures de production alimentaire ne pourra que s'accompagner d'une hausse des coûts de la nourriture consécutive à l'augmentation incessante et inéluctable du prix des combustibles fossiles et de l'énergie en général.

LA MATIERE

Comme dans tous les écosystèmes, le cycle de la matière dans les cultures dépend avant tout de deux séries de facteurs limitants : l'eau et les sels minéraux.

1. L'eau

Les disponibilités hydriques représentent un obstacle essentiel à l'accroissement de la production agricole mondiale. Même dans des pays développés à climat tempéré comme les Etats-Unis et l'Union soviétique, l'existence de zones semi-arides (déserts sonoriens froids, steppes et déserts d'Asie centrale) rendent aléatoire une augmentation importante de la production alimentaire par suite du manque en disponibilités hydri-

ques et partant du coût excessif des systèmes d'irrigation.

Ceci est a fortiori valable pour nombre de pays du Tiers Monde où dans les zones intertropicales chaque habitant ne dispose que de quelques hectolitres d'eau par jour (en incluant les besoins d'irrigation) !

Or, les besoins en eau de l'agriculture sont très considérables : un hectare de maïs consomme par exemple 20.000 t d'eau pendant sa période végétative sous nos latitudes, une surface équivalente de rizière nécessite 40.000 m³ au minimum au cours de sa saison végétative !

Exprimées en mm, donc directement comparables à la pluviométrie, voici les exigences de quelques cultures majeures :

	Hauteur en mm
Blé	365 à 760
Orge	360 à 700
Agrumes et coton	500 à 600
Graminées fourragères	550 à 970
Betterave	700 à 900
Luzerne	820 à 910
Canne à sucre	400 à 950

Dans le cas de la mise en culture d'une zone désertique — cas, par exemple de l'Impérial Valley en Californie, où il ne tombe guère que 75 mm par an — il faudra retenir le chiffre supérieur puisqu'en zone aride l'évapotranspiration est maximale. Il faudra donc trouver quelque 5.500 m³ par an d'eau pour cultiver le coton par exemple, 8.500 à 10.000 pour la betterave, ce qui met en lumière les difficultés très considérables voire insurmontables, liées à l'accroissement de la production agricole dans des territoires où les conditions écologiques sont déficientes.

Par ailleurs, on est en droit de s'interroger sur la pérennité de la mise en valeur de certaines zones semi-arides dont le système d'irrigation est fondé sur le pompage dans des nappes phréatiques d'eau douce fossile. En effet, l'absence de renouvellement de ces eaux souterraines aboutira tôt ou tard à leur inéluctable épuisement.

Il faut aussi rappeler (1) que l'irrigation peut mettre en danger certains sols lorsqu'elle est pratiquée sans précaution. Même dans des régions très développées comme la Californie, près d'un hectare de terre irriguée sur deux est menacé par la salinification d'être transformé — et de façon irréversible — en solonetz, malgré toutes les précautions prises.

En effet, même dans les cas où des ouvrages de dérivation et l'édification de barrages de retenue permettent d'obtenir un approvisionnement en eau suffisant pour mettre en culture de vastes zones arides, la menace du sel constitue un danger d'échec permanent.

1. Ce problème sera traité plus en détail par F. RAMADE, dans le deuxième numéro spécial Ecologie et Société.

Les conditions climatiques propres à ces zones font que l'évaporation dans de telles retenues est souvent d'un litre d'eau par m² et par seconde. Ce phénomène, joint à la lixivation des sols arides des bassins versants, conduit à élever dès l'amont, au niveau du lac de retenue, la teneur en sel des eaux destinées à l'irrigation des cultures.

Un autre facteur préoccupant, propre aux pays industrialisés, est la pollution des eaux de surface voire de nappes phréatiques importantes, par des produits chimiques toxiques et persistants, effluents de diverses industries...

De sérieux incidents qui sont déjà advenus en diverses régions montrent combien ce danger devient préoccupant pour l'avenir car il peut sérieusement amenuiser, en rendant impropres pour l'agriculture d'importants volumes d'eau, les disponibilités hydriques.

Nous signalerons simplement à titre d'exemple la contamination d'une nappe dans le Colorado, près de Denver, qui dès le début des années 60 conduisit à la destruction d'une importante surface de vergers irrigués par aspersion. Les eaux souterraines utilisées avaient été polluées 70 km en amont par des résidus de fabrication d'un défoliant, le 2, 4, 5 T produit par l' Arsenal des Montagnes Rocheuses !

Les radioécologistes ont aussi évoqué assez récemment les problèmes à long terme suscités par le rejet dans le Rhône d'effluents dilués provenant d'usine de retraitement des combustibles nucléaires, qui renferment du ¹³⁷Cs parmi d'autres dangereux radionucléides.

Dans le complexe absorbant des sols, chaque gramme de Smectite peut absorber 6 Curies de ¹³⁷Cs ; on conçoit donc quels dangers pourraient faire courir à long terme, pour la qualité sanitaire des productions horticoles de la vallée du Rhône, l'usage d'eaux d'irrigation ainsi contaminées.

2. Les sels minéraux nutritifs

Toute augmentation spectaculaire de la production agricole implique, en l'absence de recyclage des résidus domestiques fermentescibles et du fumier (ce qui est le cas à l'heure actuelle) dans les exploitations agricoles spécialisées de type industriel, un recours massif à la fumure minérale.

Bien que dans l'immédiat, les ressources en phosphate et potassium soient encore importantes et que la synthèse chimique des nitrates exclut toute pénurie à

court terme, la disponibilité de ces composés pour l'avenir n'est pas assurée et peut constituer une sérieuse entrave à l'augmentation de la production alimentaire mondiale.

C'est surtout pour les phosphates et les nitrates que les inquiétudes sont les plus justifiées. La répartition géologique très localisée des phosphates jointe à leur relative rareté a permis aux pays producteurs de multiplier par quatre leur prix en 1974, et de nouvelles augmentations sont en vue...

En sus de cet aspect économique, la perturbation par l'homme technologique du cycle biogéochimique du phosphore soulève à long terme de très sérieuses inquiétudes. Les usages agricoles des phosphates interdisent pratiquement toute possibilité de recyclage.

Malgré l'apparente importance des réserves estimées (19,8 × 10⁹ tonnes contenues dans des minerais ayant plus de 8 % de phosphate selon l'US Bureau of Mines) pour une extraction annuelle d'environ 12 × 10⁶ tonnes en 1970, la situation est moins favorable qu'il n'y paraîtrait.

Au début des années 1970, 39 % de la population mondiale (pays développés) utilisait 86 % des phosphates extraits. Le seul fait d'amener l'ensemble des pays à ce niveau de consommation abaissait déjà à 675 ans la longévité des réserves disponibles à cette date.

Les effets conjugués de la croissance démographique et de l'augmentation nécessaire des disponibilités alimentaires *per capita* concourent à réduire de beaucoup les prévisions de disponibilité en phosphates.

Une étude empirique de la relation entre les rendements obtenus en fonction de la quantité d'engrais phosphatés utilisés, montre (là des rendements décroissants) que la consommation en engrais phosphaté augmente 2,7 fois plus vite que l'accroissement des rendements obtenus pour leur usage. Cela signifie que la consommation de phosphate croît 2,7 fois plus vite que les effectifs humains — dans l'hypothèse où l'on voudrait simplement maintenir la disponibilité globale *per capita*.

Dans les années 1960, le taux de croissance annuelle de l'humanité était de 1,9 %/an et l'usage mondial d'engrais phosphaté a crû de 5,25 %/an, ce qui donne un rapport de 2,76 confirmant sur des bases statistiques les résultats obtenus par l'expérimentation en plein champ sur la fertilisation chimique de diverses cultures.

Le tableau 5 donne la corrélation entre les effectifs humains et les disponibilités futures en phosphate.

Tableau 5. — *Durée estimée des réserves en phosphates*

Population (en 10 ⁹ individus)	Consommation de phosphates (en 10 ⁶ t/an)	Durée des réserves connues (en années)
1,8	1,7	11.700
3,6	11,3	1.750
7,2	73	271
12	291	68
20	1.170	17

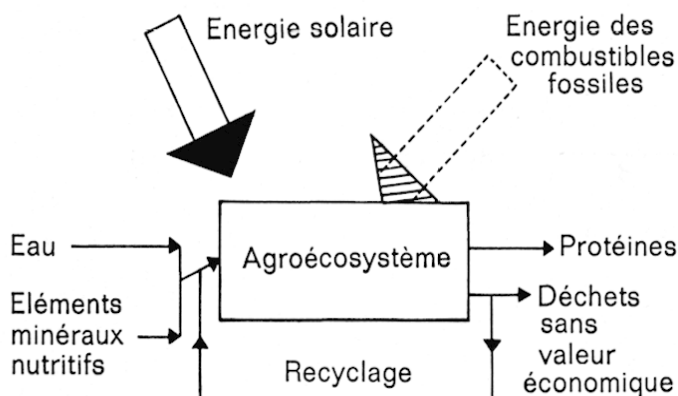
D'après SMITH et coll. (1972).

Actuellement, compte tenu de la vitesse de croissance des effectifs humains et en supposant qu'elle se maintienne dans l'avenir, les réserves estimées seront épuisées en 90 ans. Il apparaît donc que l'usage des engrais phosphatés, compte tenu de la relative faiblesse des quantités disponibles dans l'écorce terrestre, crée une sérieuse limitation à la production alimentaire mondiale. De plus, un recours massif aux engrais phosphatés fondé sur l'application des techniques actuelles de fumure minérale conduirait à une dystrophisation catastrophique de toutes les eaux continentales avec toutes les conséquences imaginables pour la production halieuthique des eaux douces.

La seule limite à une augmentation de la disponibilité en nitrates tient au coût futur de l'énergie. Il est notoire que la crise du pétrole a touché de plein fouet l'industrie des engrais nitrés.

En ce sens, la substitution systématique et aberrante de la fumure minérale à la fumure organique constitue une hérésie et un non-sens écologique. L'épandage de 25 tonnes par hectare de fumier nécessite encore 985.000 Kcal de carburant. Une fumure minérale équivalente correspond à l'apport de 136 kg ha/azote, 34 kg/ha de phosphore et 67 kg/ha de potasse. Elle nécessite 3.500.000 Kcal essentiellement pour la synthèse des nitrates qu'elle renferme, soit 3 fois plus que la fumure organique. De surcroît, innombrables sont les avantages pédologiques liés, entre autres, à l'apport d'humus de cette dernière, qui fait défaut à la fumure par engrais chimiques.

Figure 1. — Schéma du fonctionnement d'un agroécosystème dans une agriculture industrialisée.



En conclusion, on est dès à présent en mesure de se demander si le modèle occidental d'agriculture industrielle sera capable à long terme de répondre aux besoins alimentaires d'un nombre croissant d'hommes. Il s'agit d'une question lancinante si l'on prend en considération les effets dévastateurs de cette agriculture sur les grands équilibres écologiques.

Une remarque d'ordre socio-économique.

On a souvent présenté comme un avantage la diminution du nombre d'agriculteurs permis par un accroissement incessant des rendements. En fait, une étude un peu plus attentive montre que l'industrialisation de l'agriculture a surtout provoqué — par le biais de l'exode rural — une « prolétarianisation » des activités de production alimentaire.

Une estimation sérieuse du nombre de personnes réellement employées par l'agriculture doit tenir compte non seulement des effectifs d'exploitants, mais aussi des personnes employées tant en amont (dans les usines de tracteurs, d'engrais, de pesticides) qu'en aval dans les industries alimentaires, la chaîne du froid, la distribution de surgelés.

On constate alors, si l'on fait un tel bilan global, qu'il est parfaitement faux d'affirmer qu'un fermier américain nourrit 38 personnes, car en réalité, 20 % de la population américaine travaillent d'une façon ou d'une autre à produire la nourriture, et occupent pour la plupart des emplois industriels associés.

En sus du flux solaire, l'énergie des combustibles fossiles intervient de façon importante dans le bilan écoénergétique. Figure 2. — Rendement en énergie digestible produite en fonction de l'énergie auxiliaire introduite (d'après Sisler, 1975).

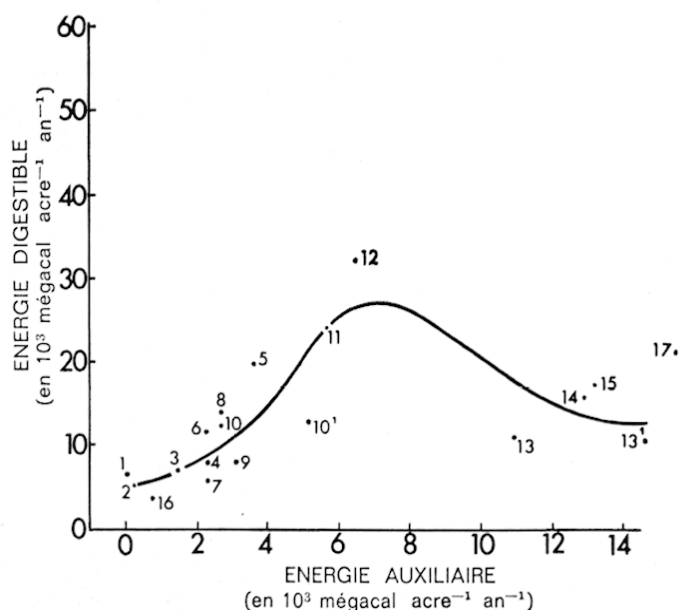


Figure 3. — Variation du rendement énergétique (énergie digestible / énergie auxiliaire) en fonction de l'énergie auxiliaire introduite (d'après Sissler, 1975).

