

Quels indicateurs pour le diagnostic énergétique en agriculture dans le cadre du plan de performance énergétique ?

Bernadette Risoud

Dans un contexte de raréfaction des ressources et de grande variation du prix des énergies fossiles, la réduction de la dépendance énergétique des exploitations agricoles est un enjeu environnemental et économique majeur pour l'agriculture. En France, un diagnostic de performance énergétique des exploitations a été engagé pour identifier les marges de progrès et les actions à entreprendre. Après avoir rappelé les origines et les principes de la méthode du bilan énergétique, cet article propose une réflexion sur les indicateurs énergétiques d'exploitations agricoles et sur l'intérêt de l'utilisation de ces outils techniques pour répondre aux objectifs du plan de performance énergétique et aux exigences d'une agriculture durable, économiquement productive et respectueuse de l'environnement.

Au cours des années quatre-vingt-dix, le groupe PLANÈTE¹, initié par une association d'agriculteurs concernés par leur autonomie (CEIPAL), a travaillé à l'élaboration d'un outil d'analyse énergétique de l'exploitation agricole (Ferrière *et al.*, 1997). Dans un article paru dans *Économie Rurale* en 1999, nous envisagions, en tant que membre de ce groupe, l'intérêt des analyses énergétiques dans une perspective de développement durable. Aujourd'hui, du fait de la diffusion gratuite de l'outil et du travail de sensibilisation mené par SOLAGRO, les bilans énergétiques PLANÈTE sont largement utilisés par les acteurs du développement agricole : instituts techniques, chambres d'agriculture, associations. Sous l'impulsion du Grenelle de l'Environnement et dans le cadre du plan de relance de l'économie, le ministère chargé de l'agriculture a publié en février 2009 un plan de performance énergétique (PPE, encadré 1) des exploitations agricoles pour la période 2009-2013. Il octroie un budget de cinq millions d'euros pour réaliser cent mille diagnostics énergétiques d'exploitations agricoles d'ici 2013. Le

dispositif de diagnostic fait l'objet de circulaires du ministère chargé de l'agriculture qui en précisent le cahier des charges, les compétences des personnes réalisant le diagnostic et les modalités d'aides financières pour les investissements. C'est pourquoi l'outil PLANÈTE est révisé depuis 2008 par les représentants de ses principaux utilisateurs, avec la coordination de l'ADEME², actualisé et modernisé dans une optique de diagnostic et de conseils. Dans ce contexte, après avoir situé la méthode de bilan énergétique du point de vue historique, nous proposons ici d'approfondir la réflexion sur les indicateurs énergétiques d'exploitations agricoles et sur l'intérêt de l'utilisation de ces outils techniques pour répondre aux objectifs du plan de performance énergétique et aux demandes sociales vis-à-vis de l'agriculture.

Bilan énergétique et développement durable

Le développement durable est un concept qui intègre les aspects économiques, sociaux et environnementaux du développement, considé-

Les contacts

Unité mixte de recherche 1041 CESAER, Centre d'économie et sociologie appliquées à l'agriculture et aux espaces ruraux, INRA-AgroSup Dijon, 26 Bd du Dr Petitjean, BP 87999, 21079 Dijon Cedex

1. PLANÈTE : Pour L'Analyse ÉnergÉTique de l'Exploitation agricole. Les partenaires du groupe Planète étaient des associations travaillant pour le développement agricole et son animation : le CEIPAL (Centre d'études et d'échanges internationaux paysans et d'actions locales, Lyon), le CEDAPAS (Centre d'études pour le développement d'une agriculture plus autonome et solidaire, Pas-de-Calais), le CETA (Centre d'études techniques agricoles, Thiérache), SOLAGRO (Toulouse) qui réalise en outre des études opérationnelles, et l'ENESAD (Établissement national d'enseignement supérieur agronomique de Dijon), impliqué au niveau recherche et formation.

2. Agence de l'environnement de la maîtrise de l'énergie.

Encadré 1

Les huit axes du plan de performance énergétique

Le plan performance énergétique (PPE) vise à accroître le nombre d'exploitations agricoles à faible dépendance énergétique. Pour ce faire, les agriculteurs se voient proposer la réalisation d'un diagnostic énergétique complet de l'exploitation, qui porte à la fois sur la réalisation d'un bilan énergétique des exploitations et sur l'identification d'actions à engager pour diminuer la facture énergétique. Ainsi, en fonction des préconisations du diagnostic, des aides aux investissements peuvent être accordées.

Le PPE se décline en huit axes :

Axe 1 – Mieux évaluer le bilan énergétique des exploitations agricoles.

Axe 2 – Diffuser massivement les diagnostics énergie.

Axe 3 – Améliorer l'efficacité énergétique de l'agroéquipement.

Axe 4 – Améliorer l'efficacité énergétique des productions agricoles.

Axe 5 – Promouvoir la production d'énergies renouvelables.

Axe 6 – Prendre en compte les spécificités des départements d'outremer.

Axe 7 – Promouvoir la recherche et l'innovation.

Axe 8 – Organiser le suivi national du plan et sa déclinaison territoriale et communiquer sur l'amélioration de la performance énergétique.

Pour en savoir plus : cf. le site du ministère chargé de l'agriculture :

<http://agriculture.gouv.fr/sections/thematiques/exploitations-agricoles/plan-performance>

rés comme interdépendants. Il doit permettre de satisfaire les besoins actuels sans compromettre la possibilité pour les générations futures de satisfaire les leurs.

À travers cette notion, il nous semble que les avancées sont de deux ordres :

– d'une part, le temps est perçu dans son irréversibilité, à travers la notion éthique de responsabilité intergénérationnelle. On admet que les cycles économiques ne sont pas éternellement reproductibles, même si le capital existe, du fait du caractère limité de certaines ressources naturelles ;

– d'autre part, l'économie s'ouvre aux autres disciplines : sociologie, écologie, sciences de l'environnement.

Les sciences économiques ont en effet longtemps joui d'un statut de science dominante dans le champ de l'action de développement et de la politique. Nous pensons que ce statut dominant provient de la priorité accordée à la monnaie – nous sommes tout heureux d'une science humaine qui nous permettrait de gagner plus d'argent – mais aussi plus fondamentalement de la fascination humaine pour les chiffres. Cette

fascination pour les données chiffrées est observable aussi bien dans le domaine de l'information et de la politique que dans celui de la recherche, où la crédibilité d'une thèse se doit d'être portée par des données chiffrées. Par contraste, ce qui ne se quantifie pas, bien-être humain, santé, biens collectifs environnementaux, etc., peut être l'objet de menaces non considérées.

C'est ainsi que la science de « l'administration de la maison », l'économie, a pris le pas sur l'écologie, même s'il aurait été plus logique qu'elle ne soit qu'une application de la science des « lois de la maison » (du grec *oikos* : maison ; *nemein* : administrer ; *logie* : théorie, discours).

Nul n'est sensé ignorer la loi, mais pourtant, celles de notre maison, de notre planète Terre, nous les avons négligées, en quête de compétitivité et de performance, aiguillonnés par la concurrence et le goût du profit. Il a fallu que ces lois naturelles nous soient rappelées par les faits eux-mêmes, et par leur impact sur les chiffres de l'économie, pour que nous les considérions enfin.

L'écologie nous montre que nous faisons partie d'un ensemble d'êtres vivants, interdépendants les uns des autres, ne serait-ce qu'à travers les

chaînes alimentaires, où l'un dévore l'autre. Les bases physiques de la vie reposent sur des éléments chimiques, des atomes dont les plus fameux sont probablement l'azote, l'oxygène, l'hydrogène et le carbone. Mais il y en a bien d'autres, utiles ou toxiques, comme chacun sait. Ces éléments sont comme la monnaie : ils circulent, passent d'un organisme à l'autre, d'un état à l'autre, d'un milieu à l'autre. Mais contrairement à la monnaie, ils ne peuvent être créés à partir de rien et obéissent même au principe de conservation énoncé dès le dix-huitième siècle par Lavoisier : « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ».

L'être humain intervient grandement dans les cycles circulatoires des éléments, et par ses activités, les modifie. L'impact des activités humaines sur la nature est aujourd'hui considérable, le cycle du carbone est déséquilibré, avec l'apport à notre atmosphère de gaz carbonique et de méthane en quantité jamais égalée, renforçant l'effet de serre et conduisant au réchauffement planétaire global. Le cycle de l'azote, très perturbé par les apports d'engrais minéraux et la charge en effluents d'élevage, y contribue aussi avec le protoxyde d'azote. Les fuites d'azote dans les eaux constituent toujours par ailleurs un problème avec les nitrates.

C'est dans ce contexte de nécessité de retrouver les fondements (lois) physiques de nos activités que l'outil d'analyse énergétique est réapparu comme un moyen de les évaluer quantitativement. C'est Lindeman (1942) qui, en appréhendant tous les éléments biologiques et physiques d'un écosystème en les réduisant à des formes et à des échanges énergétiques, avait jeté les bases de l'analyse éco-énergétique, explorée par les frères Odum dans les années cinquante. Outil de l'écologie, cette analyse a été reprise dans les années soixante-dix (Pimentel *et al.*, 1973) sous la forme simplifiée de bilans énergétiques (BE), où seules les énergies *non renouvelables* sont considérées en entrée du système étudié. Appliqués à l'agriculture, les BE ressemblent à une comptabilité monétaire, qui au lieu d'être basée sur la monnaie, l'est sur l'énergie, dans sa réalité physique. On impute ainsi aux biens entrant dans le système la quantité d'énergie non renouvelable qu'il a fallu dissiper pour les mettre à disposition. Et aux produits agricoles (les sorties), on donne la valeur énergétique alimentaire qu'ils contiennent (encore appelée énergie brute). De fait, les chiffres fournis reflètent une partie de la réalité physique des processus.

En 1973, Pimentel montrait que pour la culture de maïs aux États-Unis, l'accroissement de la productivité agricole avait été obtenu en ayant recours à des quantités croissantes d'énergie fossile : l'efficacité énergétique de la culture du maïs – qu'on appelait alors le rendement énergétique, donné par le rapport des kilocalories produites aux kilocalories consommées – était passée de 3,71 à 2,16 entre 1945 et 1973. De même, en France, l'utilisation de plus en plus massive de moyens de production d'origine industrielle, chimique et mécanique, la spécialisation animal-végétal, le recours à des aliments du bétail et l'abandon des ressources fourragères grossières avaient conduit à une baisse des rendements énergétiques (Bel *et al.*, 1978).

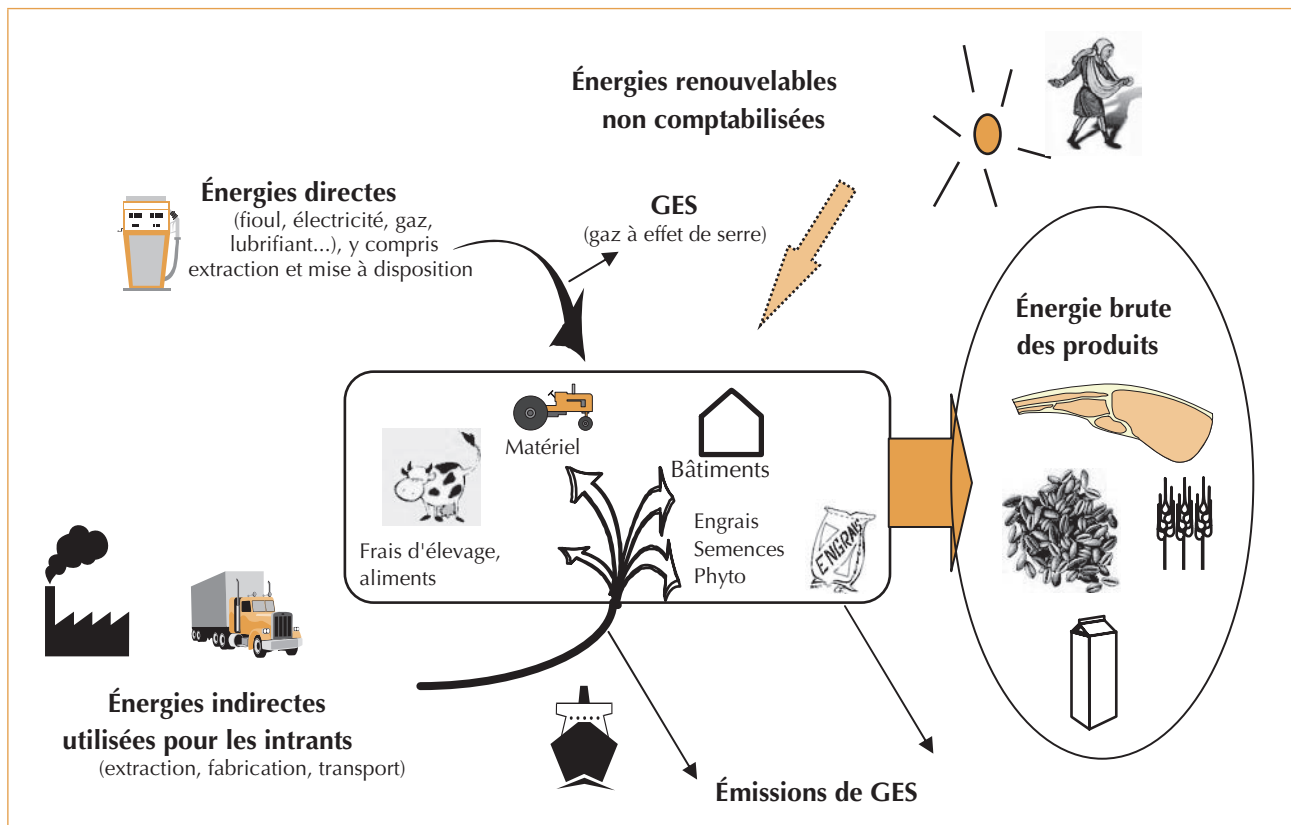
Au cours des années quatre-vingt, Bonny travailla sur le BE de l'agriculture française, montrant qu'en productions végétales, les rendements énergétiques progressaient, grâce à une gestion plus fine des intrants. L'auteur soulignait par ailleurs que l'énergie n'est pas le seul facteur rare, et mentionnait aussi les besoins en terre et en temps de travail (Bonny, 1988) ; cette remarque est plus que jamais pertinente aujourd'hui.

Le groupe PLANÈTE retravailla la méthode dans les années quatre-vingt-dix, avant d'obtenir reconnaissance et financement par l'ADEME en l'an deux mille. Nous avons choisi alors de réaliser un outil d'analyse énergétique à l'échelle de l'exploitation agricole, qui correspond au niveau décisionnel ; sachant que conformément à l'approche systémique, toute modification peut avoir des répercussions sur l'ensemble de l'exploitation agricole.

Le chiffrage des énergies entrantes et sortantes se faisait, et se fait encore, selon le modèle de la figure 1. Un calcul simple des émissions de gaz à effet de serre avait été adjoint, compte tenu des nouveaux enjeux.

Ainsi, les BE d'exploitations agricoles procurent de nombreuses données chiffrées sur :

- les énergies directes qui sont consommées (gasoil, électricité...),
- les énergies indirectes qui ont été utilisées pour mettre à disposition les intrants, et pour fabriquer les immobilisations (énergies que l'on amortit, dans ce cas, à la façon des comptabilités monétaires),
- les énergies produites, correspondant à l'énergie alimentaire des différents produits (végé-



▲ Figure 1 – Principes du bilan énergétique PLANÈTE, à l'échelle de l'exploitation agricole (source : PLANÈTE).

3. Le mode de comptabilisation des sous-produits pose toujours question. Leur prise en compte ou non fait grandement varier les résultats globaux de l'exploitation. La transparence est de rigueur sur le statut qu'on leur donne.

taux, viande, lait...). Les sous-produits (paille, effluents...) sont également comptés lorsqu'ils sortent de l'exploitation³.

Comme les comptables qui ont conçu des indicateurs de la santé économique des exploitations agricoles (à l'exemple de l'excédent brut d'exploitation ou EBE), il nous appartient de réfléchir aux indicateurs énergétiques les plus pertinents par rapport aux attentes sociétales et politiques concernant l'agriculture.

Les attentes vis-à-vis de l'agriculture

Une agriculture multifonctionnelle

Parallèlement à la notion de développement durable, émergeait dans les années quatre-vingt-dix celle de multifonctionnalité de l'agriculture. Cette notion fait écho aux fonctions que l'on prête à l'agriculture, marchandes ou non, de productions de biens alimentaires, de services d'entretien, d'accueil ou encore de préservation des espaces naturels sensibles (Berriet-Sollicet *et al.*, 2003). Ainsi, en plus de la fonction alimentaire, incon-

turnable et vitale, de la production agricole, il est reconnu que les agriculteurs jouent un rôle :

- dans l'entretien des milieux et du paysage, ou dans leur perte de qualité, avec des impacts sur la biodiversité et sur la qualité de l'eau et de l'air,
- dans l'occupation du territoire par vitalisation du tissu rural.

La satisfaction de toutes ces différentes fonctions est délicate, elle n'est obtenue que par une forme de compromis, puisque la maximisation de la production et la préservation de l'environnement sont souvent antagonistes, du fait de la pression exercée alors par les facteurs de production sur l'environnement (pesticides, engrais, effluents).

La place unique de l'agriculture comme productrice d'énergie : énergie alimentaire et énergie de combustion

Parce qu'elle est basée sur la photosynthèse des végétaux, qui utilise l'énergie du soleil, renouvelable et gratuite, et qui capte le gaz carbonique de l'air pour construire la matière végétale,

l'agriculture est une des rares activités humaines qui puisse produire plus d'énergie qu'elle n'en consomme (de non renouvelable) et qui puisse contribuer ainsi à infléchir la pente de la courbe des teneurs en CO₂⁴ de l'atmosphère terrestre. Les végétaux peuvent demeurer en place de nombreuses années ou même des décennies (arbres, prairies), constituant alors de véritables stocks de carbone.

Parce qu'elle procure aux végétaux les moyens les plus favorables à leur croissance (et donc à la photosynthèse), l'agriculture occupe une place unique dans l'économie mondiale, et n'est en rien assimilable aux activités industrielles ou tertiaires, qui elles, conformément au principe d'entropie, conduisent fatalement à des dépenses énergétiques, et aux émissions de CO₂ plus ou moins élevées qui leur sont liées.⁵

Une agriculture productrice de biomasse pour la combustion

Avec la raréfaction des réserves pétrolières, et la reconnaissance de leur épuisement programmé, est venue une demande de production de matières premières agricoles pour l'élaboration de carburants liquides (diester, éthanol), et plus largement de biomasse utilisée pour la combustion (roseaux de Chine, taillis à très courte rotation...). Ainsi, l'agriculture est aujourd'hui considérée comme porteuse d'une fonction de production d'énergie pour la combustion. Mentionnons aussi la production agricole à des fins de transformation chimique, par la « chimie verte » (plastiques végétaux, par exemple), encore marginale, mais vouée à se développer au fur et à mesure de l'augmentation des prix des énergies fossiles.

Cependant, la production de carburants d'origine agricole et la spéculation financière sur les matières premières ont semble-t-il induit un couplage économique entre le prix du pétrole et les prix agricoles, conduisant en 2008 à une augmentation fulgurante du prix des céréales, qui a dramatiquement menacé l'équilibre alimentaire des plus pauvres.

Ce couplage économique est survenu aussi du fait que les surfaces agricoles ne sont pas extensibles à l'infini, et que la production agricole planétaire est ainsi limitée. Le défrichement de forêts ou le retournement de prairies pour augmenter les surfaces emblavées sont parfois techniquement possibles, mais ce changement

d'affectation des terres a un impact négatif sur l'effet de serre, par le déstockage de carbone qu'il entraîne.

C'est pourquoi nous posons dès maintenant que ce facteur de production – la surface agricole de production – doit apparaître parmi les indicateurs à retenir dans les bilans énergétiques, afin de reconnaître la base spatiale de l'agriculture.

Ainsi les demandes vis-à-vis de l'agriculture sont diverses, parfois contradictoires ou en compétition

Production d'aliments, préservation de l'environnement, entretien des paysages, vitalisation de la société rurale, production de carburants ou de combustibles solides : le compromis élaboré par rapport à ces injonctions devra pouvoir être analysé et évalué en des termes qui dépassent la simple approche économique. Et notamment, mais pas exclusivement, par les bilans énergétiques d'exploitations agricoles permettant de quantifier leur production d'énergie, en relation avec leur consommation d'énergie non renouvelable.

Le nouvel outil permettra aussi l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre des exploitations agricoles, en relation avec leur stockage effectif de carbone. Malgré l'importance de ce dernier aspect, nous ne le développerons pas ici, pour nous focaliser sur les questions énergétiques

Quels indicateurs énergétiques pertinents par rapport aux enjeux ?

On peut distinguer essentiellement deux grands types d'indicateurs dans le cadre d'une agriculture multifonctionnelle : ceux qui établissent la performance énergétique du mode de production étudié et ceux qui en montrent l'intensité surfacique.

Les indicateurs de performance énergétique, pour évaluer la fonction productive

LA PRODUCTION ÉNERGÉTIQUE PAR UNITÉ DE SURFACE

De façon très simple, comme les rendements physiques des cultures exprimés en quintaux produits par hectare, la performance énergétique peut être

4. Dioxyde de carbone.

5. Les rares activités industrielles pouvant produire plus d'énergie qu'elles n'en consomment sont la production de panneaux solaires photovoltaïques (mais avec un « temps de retour sur investissement énergétique » de deux à quatre ans) ou thermiques, d'éoliennes ou de barrages, le point commun étant qu'ils sont des dispositifs de captation d'énergies renouvelables. D'autre part, la compensation ou rectification d'actions passées négligentes vis-à-vis de l'environnement peut aussi générer plus de gains d'énergie que de dépenses, comme par exemple l'isolation de bâtiments anciens.

6. Puisqu'en physique, on comptabilise toutes les formes d'énergies entrant dans un système, et pas uniquement les énergies non renouvelables : du fait du deuxième principe de la thermodynamique, il y a toujours des pertes (entropie), et les rendements sont donc toujours inférieurs à 1.

donnée par la production énergétique (PE) par hectare, qui nous renseigne sur la productivité moyenne de l'exploitation :

$$\text{Production énergétique par hectare} = \text{PE/ha}$$

Selon les types de production, cet indicateur va varier, et les comparaisons ne valent que pour une même production. Il n'a d'intérêt que pour nous informer sur les capacités de production énergétiques de différentes espèces végétales (ou animales) selon les milieux. Mais ce n'est pas parce que, par exemple, la pomme de terre est plus productive en énergie que les haricots verts que nous devons nous passer de ces derniers : la diversité des produits alimentaires nous est indispensable, nous ne nous nourrissons pas seulement de calories, mais aussi de nutriments variés.

D'autre part, nous ne pouvons pas nous contenter d'évaluer la seule production d'énergie, ce qui reviendrait à l'approche quantitative simple du rendement physique par hectare sans le relier à ses facteurs explicatifs. La production ne peut avoir lieu à n'importe quel coût, énergétiquement comme monétairement parlant. Il s'agit donc de mettre en relation la production d'énergie par l'agriculture avec sa consommation d'énergie non renouvelable, que ce soit à l'échelle de l'exploitation agricole ou de chaque production.

INDICATEURS À L'ÉCHELLE GLOBALE DE L'EXPLOITATION AGRICOLE, DONT ON ANALYSE ALORS LA COHÉRENCE

a) En comptabilité monétaire, on calcule des marges brutes (produits moins charges). En analyse énergétique, on pourra calculer un bilan énergétique (BE), encore appelé gain énergétique (Colomb *et al.*, 2009), **différence** entre production énergétique et consommation énergétique :

$$\begin{aligned} \text{Bilan énergétique} &= (\text{énergie brute produite}) - \\ &(\text{consommations d'énergie non renouvelable}) \\ \text{BE} &= \text{PE} - \text{CE} \end{aligned}$$

Le bilan énergétique représente la quantité nette d'énergie captée par le système.

Un BE peut aussi être exprimé à l'hectare, à la parcelle, par atelier de production...

L'interprétation du BE est simple :

– si le BE est négatif, le système est consommateur net d'énergie non renouvelable, on ne peut pas le considérer comme durable ;

– si le BE est positif, la production d'énergie est supérieure aux consommations d'énergies non renouvelables, le système est acceptable (mais doit satisfaire à d'autres exigences).

b) De la même façon, et comme par le passé, le **rapport** entre production énergétique et consommation énergétique peut être utilisé comme indicateur. Appelé d'abord « rendement énergétique » (Pimentel, 1973), il fut ensuite remplacé par le terme d'« efficacité énergétique » (PLANÈTE, 2002) pour ne pas choquer les physiciens qui ne conçoivent pas de rendements énergétiques supérieurs à 1⁶. Nous pensons, avec d'autres aujourd'hui (Pervanchon *et al.*, 2004 ; Colomb *et al.*, 2009) que le terme d'« efficacité énergétique » (EE) est finalement plus adapté.

L'efficacité est en effet un indicateur de performance, qui se définit par le rapport entre un effort fourni et le résultat obtenu. Le Larousse la définit comme *une capacité de rendement, une performance*. C'est tout à fait ce dont il s'agit ici.

$$\text{Efficacité énergétique} = \text{EE} = \frac{\text{énergie brute produite}}{\text{énergie non renouvelable consommée}}$$

L'efficacité énergétique montre la capacité du système à transformer l'énergie non renouvelable entrante.

Comme celle du BE, l'interprétation de l'EE est simple :

– si EE est inférieure à 1, le système consomme plus d'énergie non renouvelable qu'il ne produit d'énergie alimentaire, il n'est donc pas durable, on doit s'interroger ;

– Si EE est supérieure ou égale à 1, le système est acceptable de ce point de vue.

c) Pour situer les exploitations agricoles, il est souhaitable d'**envisager les deux indicateurs BE et EE simultanément**, car ils ne varient pas forcément dans le même sens (tableau 1). À BE constant, on peut avoir des EE très différentes et réciproquement.

d) À propos de l'élevage

Comme nous l'avons déjà montré en 1999 (Chopin et Risoud) et plus tard, les exploitations agricoles spécialisées en productions animales ont souvent des BE négatifs. Ceci vient du fait que l'animal est un « transformateur imparfait »

▼ **Tableau 1 – De l'intérêt de considérer les évolutions de BE et EE simultanément : exemple de trois situations d'exploitation (MJ = mégajoule ; 1 MJ = 0,28 kWh) : passer du cas n° 1 au cas n° 2 maintient le BE, mais fait baisser EE, et du cas n° 2 au cas n° 3, maintient EE et augmente le BE.**

	PE	CE	BE	EE
Unités	MJ	MJ	MJ	MJ/MJ
n° 1	4	1	3	4
n° 2	6	3	3	2
n° 3	8	4	4	2

de produits végétaux, avec un rendement de l'ordre de 10 à 20 %. C'est une réalité observée en écologie dans les chaînes alimentaires : chaque passage de maillon de la chaîne trophique au suivant se fait avec des déperditions importantes, un dixième seulement environ de l'énergie ingérée sera effectivement transformé en muscle (viande) par l'animal. Ceci constitue la loi de Lindeman (1942) sur les transferts d'énergie dans les écosystèmes⁷.

Il nous semble important que, en tant que consommateurs finaux, nous soyons conscients que les productions animales requièrent en général plus d'énergie (et donc d'espace) que les produits végétaux, afin de réaliser l'impact de notre régime alimentaire plus ou moins carnivore sur les ressources. Néanmoins, il ne s'agit pas de sombrer dans un dogme extrémiste contre l'élevage : celui-ci a bien toute sa place dans les systèmes de production agricole, pour valoriser les sous-produits des cultures, des zones herbagères, et pour fournir de précieux fertilisants organiques (solides ou liquides). Les produits et sous-produits de l'élevage nous sont fort utiles, c'est la quantité de leur consommation qui est parfois trop élevée dans les pays riches.

De plus, et ceci est fondamental, nous avons rencontré des exploitations laitières qui obtenaient des BE positifs, grâce à des stratégies d'autonomie alimentaire et par l'utilisation rationnelle des effluents d'élevage pour fertiliser les cultures. Ces systèmes sont économes et autonomes (Risoud, Bochu, 2002). De fait, ce sont les systèmes d'élevage à faible efficacité qui posent question.

e) La prise en compte de la surface extérieure mobilisée (SEM) permet de compléter l'approche globale de l'exploitation agricole par BE et EE.

BE et EE peuvent servir à envisager des scénarios d'évolution de l'exploitation agricole ou à évaluer des changements de façon systémique. Ce sont des indicateurs de pilotage de l'ensemble de l'exploitation agricole. Cependant, de simples changements dans l'assolement, liés aux rotations culturales, peuvent faire varier BE et EE d'une année sur l'autre. Le diagnostic énergétique doit pouvoir rendre compte de la cause des évolutions observées.

Par ailleurs, bilan et efficacité énergétiques peuvent aussi varier si l'agriculteur, dans une stratégie contraire à l'autonomie, choisit d'augmenter par exemple son recours aux aliments du bétail produits à l'extérieur de son exploitation. Si ceci lui permet de vendre plus de végétaux, il est probable que BE et EE soient augmentés. En effet, seules les énergies non renouvelables nécessaires à la production des intrants organiques sont comptabilisées en analyse énergétique, alors qu'ils apportent aussi une énergie brute (ou énergie alimentaire). Cette limite de la méthode a déjà été soulignée (Risoud, 2004). Nous proposons de la lever de la façon suivante : puisque ces produits organiques (aliments du bétail, semences, jeunes animaux) entrant sur l'exploitation ont requis une certaine surface de terre pour être produits, il suffit de considérer un indicateur supplémentaire : *les surfaces extérieures à l'exploitation qui ont été nécessaires pour produire ces intrants organiques*. Ceci représente une façon indirecte de considérer l'énergie brute entrante. Parallèlement, cet indicateur permet de mettre en évidence le degré d'autonomie des exploitations agricoles, selon leur plus ou moins grande dépendance vis-à-vis de surfaces extérieures.

Ainsi, la prise en considération des *surfaces extérieures mobilisées (SEM)* permet d'élargir le regard, et d'éviter de négliger les éventuels transferts d'impacts à l'extérieur de l'exploitation, qui peuvent être importants en particulier lorsqu'ils conduisent à des changements d'affectation des terres. Enfin, par cet indicateur, la « rareté » des terres fertiles est prise en considération, en prévision des décennies à venir.

Pour évaluer la surface nécessaire à la production d'une quantité entrante donnée i , on se base sur des rendements moyens (en quintaux par hectare) :

$$SEM_i = \text{surface extérieure mobilisée par } i = \frac{\text{quantité (qx) d'intrant } i \text{ organique}}{\text{rendement moyen physique de } i \text{ par ha}}$$

7. Cité par Ramade (2003).

On ajoute ensuite les surfaces extérieures obtenues pour chaque intrant organique.

$$\text{SEM} = \text{surface extérieure mobilisée totale} = \text{somme (quantité (qx) d'intrant i organique/ rendement moyen physique de i par ha) pour tous les i}$$

La SEM peut être faible dans les exploitations agricoles autonomes, et forte dans les élevages hors-sol qui achètent tous les aliments des animaux.

La SEM va permettre de corriger certains résultats énergétiques, en les exprimant en fonction des hectares utilisés totaux :

$$\text{Surface totale corrigée} = \text{SAU}^B \text{ corrigée} = \text{SAU de l'exploitation agricole} + \text{SEM}$$

En définitive, l'utilisation des trois indicateurs combinés peut permettre le pilotage global de l'exploitation agricole : on cherchera à maximiser BE et EE, tout en minimisant la SEM, dans une optique de faible dépendance énergétique.

INDICATEURS À L'ÉCHELLE D'UNE PRODUCTION DONNÉE, D'UN ATELIER

Au-delà de cette connaissance globale, si l'on veut comparer l'efficacité de différentes techniques de production, des indicateurs rapportés à un seul produit donné doivent être utilisés. Les exploitations agricoles étant rarement en monoproduction, on décortique leur approche globale pour affecter les énergies consommées aux différentes productions. Pour ce faire, il existe des réelles difficultés d'imputation des consommations énergétiques, qui peuvent rendre cet exercice délicat et approximatif, en particulier pour l'imputation des énergies directes (gasoil des tracteurs, électricité). Ce problème est résolu dans le nouvel outil d'analyse énergétique actuellement en phase de conception avec l'ADEME par l'utilisation par défaut de données de répartition moyenne des consommations.

L'indicateur d'efficacité utilisé est alors la quantité d'énergie non renouvelable consommée pour produire une tonne d'un produit donné :

$$\text{Consommation d'énergie non renouvelable par tonne d'un produit} = \text{CE/t produit}$$

Cet indicateur permet les comparaisons de différents itinéraires techniques du produit, sachant que les potentialités du milieu exercent aussi une influence sur les résultats. Il permet à l'agriculteur de se situer par rapport à d'autres, lors d'analyses de groupe. Dans une optique de développement, cette donnée est essentielle.

On peut la décomposer entre les consommations énergétiques liées aux différents intrants, pour une analyse plus fine :

$$\text{CE/t produit} = \text{somme (CE}_{\text{engrais}}/\text{t produit} + \text{CE}_{\text{gasoil}}/\text{t produit} + \text{CE}_{\text{semences}}/\text{t produit} + \text{CE}_{\text{aliments}}/\text{t produit} + \dots)$$

Le parallèle avec l'approche comptable est saisissant, avec des possibilités de conseils similaires. Ceux-ci seront axés sur les postes les plus consommateurs, relativement et dans l'absolu.

Le nouvel outil est essentiellement axé sur l'établissement de cet indicateur : consommation d'énergie non renouvelable par tonne de chaque produit. Il sera en effet utilisé dans un objectif de développement par les différents techniciens spécialistes des différentes productions. On évite ainsi les biais liés aux proportions variables de productions végétales et animales au sein d'une même exploitation agricole, mais on risque de perdre l'appréhension de la cohérence globale de celle-ci.

Indicateurs d'intensité surfacique, pour évaluer la fonction de gestion du territoire

Pour appréhender la fonction de gestion du territoire, on pourra utiliser des indicateurs d'intensité surfacique, que l'on cherche à minimiser afin d'obtenir un impact minimal par unité de surface. Pour en rendre compte, la donnée « énergie non renouvelable consommée (CE) par hectare » qui reflète le degré d'intensivité de l'exploitation agricole, semble bien adaptée :

$$\text{Énergie non renouvelable consommée par hectare} : \text{CE/ha}$$

Cette consommation énergétique représente bien l'ensemble des intrants du système de production, et rapportée à l'unité de surface, elle procure un indicateur d'intensité surfacique. Moins on consomme à l'hectare, plus le système est extensif.

8. Surface agricole utile.

Dans les exploitations agricoles en productions animales, on peut de même aussi observer l'indicateur d'intensité par unité gros bétail (UGB) :

Énergie non renouvelable consommée
par UGB présente sur l'exploitation = CE/UGB

On peut légitimement émettre l'hypothèse que plus les consommations énergétiques à l'hectare sont élevées, plus les intrants sont importants, et donc plus les facteurs influençant le milieu sont importants : engrais, passage d'outils, pesticides... Cet indicateur illustre, quoique imparfaitement, la **pression exercée sur le milieu**.

Dans le cadre de politiques de préservation de certains biotopes, on pourra souhaiter que les interventions humaines y soient minimales, et donc que CE/ha y tende vers zéro : ce sera le cas dans les réserves naturelles. Autour de ces zones protégées, afin d'établir un maillage européen d'écosystèmes préservés (trame verte), on peut envisager de limiter le rapport CE/ha en dessous d'un certain seuil.

Cet indicateur apparaît donc pertinent pour des politiques de protection de biotopes. En revanche, pour satisfaire toutes les demandes sociales vis-à-vis de l'agriculture, il ne peut être suffisant : la fonction de production agricole (qu'elle soit alimentaire ou non) ne peut être écartée.

La question du travail humain en tant qu'énergie

Le travail humain représente aussi de l'énergie, qui est injectée dans le système de production. On peut même affirmer qu'elle est la condition *sine qua non* de son existence. Néanmoins, l'énergie du travail humain n'est pas intégrée dans les calculs en tant que telle, parce que son évaluation est délicate : en effet, doit-on considérer l'énergie physique mise en œuvre au cours du travail, ou plutôt l'énergie absorbée par le travailleur ? Ou même l'énergie de reproduction de cette force de travail ?

Considérée de fait comme totalement renouvelable dans PLANÈTE, il nous semble que l'énergie du travail déployée au sein des exploitations agricoles doit alors, pour ne pas être oubliée, être considérée dans certains indicateurs sous la forme simple du nombre d'unités de main-d'œuvre présentes : UMO.

On peut ainsi utilement exprimer la productivité énergétique par unité de main-d'œuvre :

Production énergétique/
unité de main-d'œuvre = PE/UMO

et aussi la consommation énergétique par unité de main-d'œuvre :

Consommation d'énergie/
unité de main-d'œuvre = CE/UMO

Ce dernier indicateur est à minimiser. En faisant l'hypothèse qu'il y a substitution entre consommations d'énergie et travail, on pourrait – en vue de diminuer la pression surfacique, chercher à rendre les systèmes plus intensifs en travail (à condition que cette main-d'œuvre supplémentaire existe réellement, ce qui est loin d'être avéré).

Synthèse

Nous intégrons la SAU corrigée comme définie plus haut à l'élaboration de certains indicateurs globaux, présentés dans le tableau de synthèse (tableau 2).

Ce récapitulatif ne prétend pas envisager toutes les combinaisons utiles pour mettre en œuvre une analyse énergétique, mais dégage des indicateurs pouvant éclairer les politiques de développement.

D'autres indicateurs peuvent être conçus selon les besoins. Par exemple, dans une approche qui serait plus axée sur la nutrition, on pourrait rapporter certains indicateurs énergétiques ci-dessus aux quantités de protéines produites (ou de tout autre nutriment).

Tout dépend de la problématique dans laquelle on se place. Mais nous l'avons vu, les demandes sociétales vis-à-vis de l'agriculture sont parfois antagonistes. Nous sommes pris en tenaille entre la nécessité de produire suffisamment et celle de préserver l'eau, l'air, la biodiversité par des systèmes relativement extensifs. Le compromis ne peut prendre corps qu'en fonction des potentialités pédoclimatiques locales. C'est un peu le grand écart pour le monde agricole, et nous pensons qu'il est probable que se développent deux types d'agriculture extrêmes : l'une préservant l'environnement mais peu productive par unité de surface, l'autre intensive et productive, mais

Indicateurs énergétiques	Unités	Fonctions
Production énergétique par hectare = PE/ha, pour un produit donné	MJ/ha d'un produit	Comparaison de produits. <i>Sans grand intérêt.</i>
Effizienz énergétique = EE = énergie brute produite/énergie non renouvelable consommée	MJ/MJ	Évaluation globale de la durabilité de l'exploitation. Évaluation de scénario d'évolution
Bilan énergétique = BE = énergie brute produite moins consommations d'énergie non renouvelable	MJ	Évaluation globale de la durabilité de l'exploitation. Évaluation de scénario d'évolution.
SEM = surface extérieure mobilisée totale = somme (quantité (qx) d'intrant i organique/rendement moyen physique de i par ha) pour tous les i	Hectare	Évaluation globale de la durabilité de l'exploitation, de son degré d'autonomie. Prise en compte de la possibilité d'impacts extérieurs (pression foncière...). Évaluation de scénario d'évolution.
Consommation d'énergie non renouvelable par tonne d'un produit = CE/t produit	MJ/tonne d'un produit	Comparaisons d'itinéraires techniques, dans analyse de groupe. Comparaison de produits.
Bilan énergétique/ha = BE/ha = énergie brute produite moins consommations d'énergie non renouvelable par hectare corrigé	MJ/ha corrigée <i>Les hectares sont ceux de l'exploitation + SEM = SAU corrigée</i>	Évaluation de la durabilité de l'exploitation. Évaluation de scénario d'évolution.
Production énergétique par hectare corrigé = PE/ha corrigé	MJ/ha corrigée <i>Les hectares sont ceux de l'exploitation + SEM = SAU corrigée</i>	Évaluation de la productivité énergétique de l'exploitation agricole.
Énergie non renouvelable consommée par hectare : CE/ha	MJ/ha <i>Les hectares sont ceux de l'exploitation</i>	Indicateur d'intensité. Analyse de groupe. Illustre la pression exercée sur le milieu.
Énergie non renouvelable consommée par UGB présente sur l'exploitation : CE/UGB.	MJ/UGB	Indicateur d'intensité. Analyse de groupe pour élevage.
Production énergétique/unité de main-d'œuvre = PE/UMO. Consommation d'énergie/unité de main-d'œuvre = CE/UMO. Bilan énergétique/unité de main-d'œuvre = BE/UMO	MJ/UMO	Ces trois indicateurs peuvent être examinés dans une perspective de productivité du travail, mais aussi d'emploi agricole.

9. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.

▲ Tableau 2 – Indicateurs énergétiques et leurs fonctions pour évaluer une exploitation agricole ou un atelier de production (MJ = mégajoule ; 1 MJ = 0,28 kWh).

ayant des conséquences néfastes sur l'environnement. La voie médiane prônée par Viaux (2000) est menacée par l'augmentation des demandes alimentaires et non alimentaires. Ce sera donc aux politiques de trancher, en hiérarchisant les exigences vis-à-vis de l'agriculture, ou en les territorialisant en fonction des principaux enjeux locaux.

Conclusion en relation avec le plan de performance énergétique

Le panorama des indicateurs énergétiques en agriculture envisagés ci-dessus va au-delà du cadre

établi par le plan de performance énergétique. En effet, d'après la circulaire MAP⁹ 2009-3013, « le diagnostic énergétique indique la quantité d'énergie directe et indirecte consommée par l'exploitation agricole sur une année, sa répartition par postes de consommation et si possible entre ateliers de production » (CE/t produit).

Ceci signifie qu'*a priori*, les autres indicateurs ne sont pas envisagés dans le diagnostic de performance énergétique du PPE. Cependant, l'outil en cours d'élaboration (Dia'terre) devrait autoriser les calculs d'indicateurs globaux tels que BE, EE et SEM, les données nécessaires à leur établissement étant collectées. Il est clair que la

performance énergétique d'une exploitation ne saurait être évaluée par ses seules consommations d'énergie. Celles-ci doivent nécessairement être reliées aux productions, sinon l'idéal serait de ne rien produire pour ne rien consommer ! Lorsque la répartition des consommations par atelier de production est impossible, il faudra alors rester au niveau de la production énergétique globale de l'exploitation agricole, et donc utiliser BE et EE. De plus, les différents scénarii d'évolution de l'exploitation agricole se doivent d'être aussi évalués globalement, y compris par l'évolution de SEM, afin de vérifier qu'on n'améliore pas un atelier de production au détriment d'un autre, ou en ayant un recours accru à des surfaces extérieures.

Le développement à grande échelle de la méthode des diagnostics « énergie » dans le cadre de l'axe 2 du plan de performance énergétique des exploitations agricoles est conçu pour permettre de concrétiser l'objectif du Grenelle de l'Environnement : « accroître la maîtrise de l'énergie des exploitations afin d'atteindre un taux de 30 % d'exploitations agricoles à faible dépendance énergétique d'ici 2013 ». L'axe 4 du PPE vise à *améliorer l'efficacité énergétique de la production agricole* ; y sont mentionnés trois moyens :

- 1) l'encouragement aux investissements visant à économiser l'énergie,
- 2) l'encouragement à la réduction de la consommation d'intrants,
- 3) le développement de l'utilisation des certificats d'économie d'énergie (encadré 2).

Pour le point 2, des voies pour économiser l'énergie avaient déjà été identifiées, grâce à l'analyse des résultats des bilans PLANÈTE (Bochu, 2007). Les systèmes de polyculture-élevage, parce qu'ils permettent une meilleure autonomie alimentaire des animaux et une économie d'engrais minéraux, sont les plus efficaces énergétiquement parlant pour chacun de leurs ateliers de production. De même, le recours à des cultures de légumineuses (fixatrices gratuites d'azote) permet des économies d'aliments concentrés et d'engrais azotés fortement consommateurs d'énergie. On constate donc que certaines possibilités d'économiser l'énergie résident dans les choix de systèmes de production et dans la combinaison des différentes productions à l'échelon local. Ces préconisations sont d'ailleurs reprises dans l'annexe 1 de la circulaire 3013, comme moyen d'économiser l'énergie.

La gestion fine des intrants, notamment de l'azote achetée, est ainsi bien reconnue, les actions mentionnées comme y concourant étant l'amélioration du pilotage de la fertilisation azotée, le retour au sol des déchets organiques et l'incitation au développement des légumineuses.

Nous espérons que l'encouragement à la réduction des consommations d'intrants ne sera pas occulté par les autres moyens (points 1 et 3) qui demandent des investissements et contribuent ainsi à faire tourner le système économique. Concernant le point 3, en mars 2009, seules trois opérations standardisées d'économie d'énergie adaptée à l'agriculture ont été définies dans le PPE comme pouvant faire l'objet de certificat d'économie d'énergie : contrôle et réglage des tracteurs, ballon d'eau chaude « *open buffer* » pour les serres maraîchères, et ordinateur climatique toujours pour les serres maraîchères et horticoles. Le PPE préconise l'élargissement du nombre d'opérations adaptées à l'agriculture : de nombreux équipements et actions pourraient donc venir les compléter. Trente millions d'euros du plan de relance de l'économie seront consacrés en 2009 à soutenir les projets et équipements de maîtrise de consommation d'énergie ainsi que de production d'énergies renouvelables (axe 5).

Concernant cet axe, où l'accent est mis sur la méthanisation à la ferme, nous pensons dans une optique d'autonomie énergétique, qu'il faudrait ajouter des soutiens à l'acquisition de presse à huile pour produire de l'huile végétale pure à la ferme (ou en CUMA¹⁰) en substitution au gasoil¹¹.

Comme l'agriculture prise en tenaille entre des demandes contradictoires, notre système économique est lui aussi pris entre deux nécessités conflictuelles : continuer à générer du profit pour perdurer – et donc continuer la fuite en avant de la consommation, par le soutien aux investissements – et d'autre part, économiser les ressources naturelles limitées afin que leur prix ne s'élève pas trop vite, ce qui menacerait aussi notre économie. De fait, il est possible de combiner les deux, en investissant pour moins consommer d'énergie. Mais si cela est rentable économiquement, il est indispensable de vérifier que cela l'est aussi en terme énergétique : il s'agit d'évaluer les énergies nécessaires à la fabrication et à l'installation des nouveaux appareils (par exemple, les « *open buffer* » pour les serres) et au recyclage des anciens, en relation avec les économies d'énergie espérées. Plus

10. Coopérative d'utilisation de matériel agricole.

11. Ce carburant a une EE de l'ordre de 5, bien supérieure à celle des agro-carburants industriels qui varient de 1 à 3, selon ADEME-DIREM (2002). Sa production est encouragée par la loi d'orientation agricole du 5 janvier 2006 avec exonération de TIPP (taxe intérieure de consommation sur les produits pétroliers).

12. Direction générale de l'énergie et des matières premières.

13. Électricité de France.

14. Compagnie parisienne de chauffage urbain.

15. En mai 2009, 60 TWh ont été économisés, dépassant l'objectif fixé, et conduisant le ministre chargé de l'environnement à annoncer un renforcement du dispositif avec pour ambition des économies de 100 TWh par an dès 2010 : cf. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/energie/developp/econo/lettre-cee-mai09.pdf>

Encadré 2

Les certificats d'économie d'énergie, dispositif créé en 2006 par le ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie

© Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, DGEMP¹², modifié le 08/01/2007

La loi de programme du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique impose de réduire de 2 % par an d'ici à 2015 et de 2,5 % d'ici à 2030 l'intensité énergétique finale, c'est-à-dire le rapport entre la consommation d'énergie et la croissance économique.

Le principe des certificats d'économie d'énergie repose sur une obligation de réalisation d'économies d'énergie imposée par les Pouvoirs publics sur une période donnée aux vendeurs d'énergie (électricité, gaz, chaleur, froid et fioul domestique) comme EDF¹³, Gaz de France, SUEZ, les réseaux de chaleur tels CPCU¹⁴, TOTAL...

Un objectif de 54 TWh est fixé pour la période allant du 1^{er} juillet 2006 au 30 juin 2009¹⁵. L'arrêté du 26 septembre 2006 donne la répartition par énergie de l'objectif national d'économies d'énergie pour cette période. Si les vendeurs d'énergie ne parviennent pas à remplir leurs obligations dans le temps imparti, ils devront s'acquitter d'une pénalité libératoire à verser au Trésor public dont le montant ne pourra excéder 2 c€/kWh.

Liberté et créativité sont laissées aux vendeurs d'énergie pour choisir les actions qu'ils vont entreprendre afin d'atteindre leurs obligations. Ils peuvent amener leurs clients à réaliser des économies d'énergie en leur apportant des informations sur les moyens à mettre en œuvre, avec des incitations financières en relation avec des industriels ou des distributeurs : prime pour l'acquisition d'un équipement, aides aux travaux, service de préfinancement, diagnostic gratuit. Le champ des initiatives s'avère large et ouvert. Tout ce qui permet de réaliser des économies de manière démontrable pourrait a priori entrer dans le champ des certificats, lorsque le dispositif sera totalement en place : éclairage, chauffage, isolation, etc.

En contre partie du constat des investissements effectués par les consommateurs grâce à ces actions, les vendeurs d'énergie reçoivent des certificats sur la base de forfaits en kWh calculés par type d'action. Un volume minimal d'économie d'énergie est fixé à 1 GWh cumulés actualisés pour un dépôt de dossier. Des échanges de certificats de gré à gré sont possibles, mais il n'y a pas de marché organisé par l'État.

généralement, tous les investissements dans le cadre du PPE devraient pouvoir être évalués du point de vue énergétique.

Les indicateurs énergétiques décrits dans cet article permettent d'éclairer ces choix. Certains (bilan, efficacité, surface extérieure mobilisée, considérés ensemble) permettent un pilotage de l'exploitation agricole vue dans sa cohérence globale, tandis que d'autres (consommation énergé-

tique par tonne produite) permettent des analyses de groupe et un travail plus technique. Associés à un bilan apparent de l'azote et à la quantification des énergies renouvelables produites, ces indicateurs énergétiques devraient constituer un outil permettant le conseil technique, aussi bien pour économiser l'énergie que pour développer l'autonomie de l'exploitation agricole, et ainsi la rendre moins vulnérable aux variations de prix de ses intrants. □

Résumé

L'outil d'analyse énergétique de l'agriculture devient largement utilisé à l'échelle des exploitations agricoles et sera la base d'un diagnostic dans le plan de performance énergétique gouvernemental. Il produit des données chiffrées proches des données comptables dans la démarche, mais fondées sur des réalités physiques. Elles peuvent constituer des indicateurs, dont la signification et l'utilisation sont examinées ici en fonction des attentes portées vis-à-vis de l'agriculture et au regard des objectifs du récent plan de performance énergétique.

Abstract

The energy balance is a tool widely used in French agriculture at the scale of the farms. It will be the basis for a diagnosis in the French Energetic Performance Plan. It provides data with similarities to accounting ones, but based on physical domain. These data may provide energy indicators, of which meanings and utilization are here examined according to the social expectations from agriculture and to the objectives of the French Energetic Performance Plan.

Bibliographie

ADEME-DIREM, Ecobilan, 2002, *Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants*, rapport technique, 132 p.

BEL, F., LE PAPE, Y., MOLLARD A., 1978, *Analyse énergétique de la production agricole*, Grenoble, INRA-IREP, 163 p.

BERRIET-SOLLIEC, M., DÉPRÈS, C., VOLLET, D., 2003, La multifonctionnalité de l'agriculture entre équité et efficacité, Le cas des CTE en Auvergne, *Économie Rurale*, n° spécial multifonctionnalité, p. 191-211.

BOCHU, J.-L., 2007, *Synthèse 2006 des bilans PLANETE. Consommation d'énergie et émissions de GES des exploitations agricoles ayant réalisé un bilan PLANETE*, Synthèse, 28 p., Partie 1 : Présentation de l'étude et résultats généraux, 37 p., Partie 2 : production « bovins-lait strict », 52 p., Partie 3 : production « grandes cultures strict », 38 p., Partie 4 : production « bovins lait et cultures », 42 p., Partie 5 : production « viande strict (bovins, ovins, porcs) », 29 p., Partie 6 : production « viande et cultures », 40 p., bilans réalisés pour l'ADEME par SOLAGRO, synthèse disponible à cette adresse internet : <http://www.solagro.org/site/286.html>

BONNY, S., 1980, *Estimations des consommations énergétiques de quelques productions en systèmes de grande culture et systèmes laitiers*, document de travail INRA Grignon, 37 p.

BONNY, S., 1988, *Les consommations d'énergie de l'agriculture en 1985 et leur évolution depuis dix ans*, INRA-ESR Grignon, Notes et documents, n° 22, 76 p.

COLOMB, B., GLANDIÈRES, A., CARPY-GOULARD, F., LECAT, N., PELLETIER, A., PRIEUR, L., 2009, Analyse énergétique des systèmes de grandes cultures biologiques. Impact du niveau d'intensification, *Innovations Agronomiques*, n° 4, p. 176-181.

FERRIÈRE, J.-M., FAUVEAU, C., CHABANET, G., STOLL, J., HOFFMANN, M., RISOU, B., FARRUGIA, A., FORTIN, G., 1997, L'analyse énergétique à l'échelle de l'exploitation agricole. Méthodes, apports et limites, *Fourrages*, n° 151, p. 331-350.

LINDEMAN, R., 1942, The trophic-dynamic aspect of ecology, *Ecology*, n° 23, p. 399-417.

Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie :

- arrêté du 22 novembre 2007 définissant les opérations standardisées d'économies d'énergie,
- arrêté du 26 septembre 2006 fixant la répartition par énergie de l'objectif national d'économies d'énergie pour la période du 1er juillet 2006 au 30 juin 2009,
- décret n° 2006-603 du 23 mai 2006 relatif aux certificats d'économies d'énergie.

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2009 :

- plan de performance énergétique des exploitations agricoles 2009-2013, arrêté du 4 février 2009, JO du 8 février 2009, 12 p.
- circulaire PPE DGPAAT/SDBE/C2009-3012 du 18 février 2009, Dispositions relatives au PPE, 94 p.
- circulaire PPE DGPAAT/SDBE/C2009-3013 du 18 février 2009, Mise en place du dispositif national de diagnostic de performance énergétique des exploitations agricoles dans le cadre du plan de performance énergétique, 5 p. + annexes.

ODUM, E., ODUM, H.-T., 1953, *Fundamentals of ecology*.

PERVANCHON, F., THIOLLET, M., AMIAUD, B., BOCKSTALLER, C., GIRARDIN, P., KEICHINGER, O., PLANTUREUX, S., 2004, Un indicateur Indigo pour l'analyse énergétique des systèmes de production, *Travaux et innovations*, n° 105, p. 35-3.

PLANETE, 2002, *Analyse énergétique d'exploitations agricoles et pouvoir de réchauffement global. Méthode et résultats sur 140 fermes françaises*, rapport d'étude pour l'ADEME, sous la direction de B. Risoud, 102 p. + annexes.

PIMENTEL, D., HURD, L.-E., BELLOTTI, A.-C., FORSTER, M.-J., OKA, I.-N., SHOLES, O.-D., WHITMAN, R.-J., 1973, Food production and energy analysis, *Science*, n° 182, p. 443-449.

RAMADE, F., 2003, *Éléments d'écologie*, Écologie fondamentale, Dunod, 690 p.

RISOUD, B., 1999, Développement durable et analyse énergétique d'exploitations agricoles, *Économie Rurale*, n° 252, p. 16-26.

RISOUD, B., CHOPINET, B., 1999, Efficacité énergétique et diversité des systèmes de production agricole. Application à des exploitations agricoles bourguignonnes, *Ingénieries-EAT*, n° 20, p. 17-25.

RISOUD, B., BOCHU, J.-L., 2002, Bilan énergétique et émission de gaz à effet de serre à l'échelle de la ferme : résultats en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle, *Alter Agri*, n° 55, p. 10-13.

RISOUD, B., 2004, Les domaines d'application de l'analyse énergétique, *Travaux et Innovations*, p. 29-33.

VIAUX, P., 2000, *Une troisième voie en Grande Culture ; environnement, qualité, rentabilité*, Éditions Agridécisions, collection Comprendre.