

Communication au 10<sup>ème</sup> Colloque international annuel du Secrétariat francophone à l'évaluation  
environnementale Colloque (SIFEE) Angers France du 20 au 24 Juin 2005  
« Evaluation environnementale et développement d'une agriculture durable »

## Elaborer des approches intégrées, pour réduire les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture, des forêts et de leurs produits jusqu'en fin de vie.

**Arthur Riedacker\* et Joseph Racapé \*\***

\*INRA 63 Bd de Brandebourg 94205 Ivry Cedex

[a.riedacker@wanadoo.fr](mailto:a.riedacker@wanadoo.fr)

\*\*MIES 20 Avenue de Ségur 75007 Paris

[joseph.racape@ecologie.gouv.fr](mailto:joseph.racape@ecologie.gouv.fr)

*Mots clefs ; Gaz à effet de serre, inventaires, politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre, agriculture, forêts, phytomasses, biomasses, approche systémique, modélisation.*

### Résumé

*La contribution spécifique et la détermination des politiques qu'il convient d'encourager pour atteindre les objectifs du Protocole de Kyoto et pour d'ici 2050 diviser les émissions mondiales de GES (gaz à effet de serre) par 2, ne découlent pas directement et exclusivement, dans le domaine de l'agriculture et des forêts, des inventaires nationaux des émissions sous le format CCNUCC (Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique) en vigueur. Pour cela il faut recourir à des approches intégrées, spatiales, temporelles prenant en compte les émissions et réductions d'émissions provenant (I) des territoires, (II) des conversions des phytomasses et (III) des activités en amont en en aval de l'agriculture et de la foresterie. Cela implique aussi de recourir simultanément à deux séries d'indicateurs relatifs, les uns, à l'évolution de l'efficacité dans l'utilisation des terres, et les autres aux émissions de GES par tonne de produit et si possible aussi par service rendu. Les analyses de cycle de vie (ACV) des produits, qui peuvent s'appliquer aux émissions des produits industriels, sont utiles, mais insuffisantes. Elles ne prennent en effet pas en compte le facteur limitant essentiel qu'est la disponibilité des terres potentiellement utilisables pour la production de phytomasses, un aspect déterminant dans les possibilités de remplacement des produits d'origine fossiles par des biomasses. La nouvelle approche intégrée proposée, en prenant en compte simultanément l'efficacité de l'utilisation des terres et les émissions de GES par unité de produit, permet une modélisation physique cohérente.*

*A titre d'illustration une analyse, de l'évolution, entre 1850 et 1990 en France, relative à l'évolution de l'efficacité de l'utilisation des territoires et aux émissions de GES par tonne de céréale est présentée. On montre ainsi que dans le secteur agricole il faut d'abord aider les pays de l'Afrique subsaharienne à augmenter la production par unité de surface et d'y maintenir la fertilité des sols actuellement en cours d'appauvrissement minéral. L'analyse conduit plus généralement à recommander de s'acheminer d'ici 2050 vers une révolution triplement verte; vers des gestions (1) plus productives des territoires agricoles et forestiers, (2) localement moins polluantes et plus efficaces dans l'utilisation de l'eau disponible, et (3) prenant en compte également l'environnement global en maximisant la réduction des émissions de GES, prévoyant des aménagements des territoires spécifiques et prenant en compte la santé des consommateurs.*

○○○○

L'objectif de la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques est de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau non dangereux pour la production alimentaire, qui permette aux écosystèmes de s'adapter et au développement économique de se poursuivre de manière durable. Selon le niveau auquel on souhaite stabiliser ces concentrations il faudra que les émissions mondiales atteignent plus ou moins rapidement un niveau ne dépassant pas les capacités d'absorption, principalement par les océans, des gaz émis par les activités humaines, c'est-à-dire la moitié des émissions actuelles d'origines anthropiques (GIEC 2000, Riedacker 2004 b)<sup>1</sup>.

L'agriculture et la foresterie sont concernées par les changements climatiques sous deux angles. Les productions agricoles et forestières seront sans doute fortement affectées au cours des prochaines décennies. Il faudra donc les adapter aux nouveaux contextes climatiques.

Les activités agricoles et forestières et les conversions des biomasses conduisent par ailleurs à des émissions de gaz à effet de serre (GES).

<sup>1</sup> S'agissant d'un colloque francophone nous privilégions dans la mesure du possible des références en français.

Nous examinerons donc d'abord les efforts de réductions d'émissions d'origines anthropiques que nécessitera cette stabilisation. Plusieurs aspects distinguent cependant ces activités de celles des autres secteurs : Nous donnons à cette fin divers bilans d'émissions. Puis nous montrons pourquoi des approches intégrées sont indispensables pour définir correctement les politiques destinées à réduire les émissions en vue de satisfaire cet objectif et pour mettre en place une modélisation physique cohérente.

## 1/ LA STABILISATION DES CONCENTRATIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE DANS L'ATMOSPHERE ; UN OBJECTIF POUR CE SIECLE.

La figure 1 indique les évolutions que devraient suivre d'une part les émissions mondiales, et d'autre part celles des pays industrialisés et des pays en développement pour stabiliser ces concentrations à 450 ppm. Elle montre que les réductions d'émissions des pays industrialisés programmées dans le cadre du protocole de Kyoto d'ici 2012, en moyenne d'environ 5% par rapport à 1990, constituent un virage certes significatif, mais non suffisant. Leurs émissions devront donc continuer à fortement diminuer après 2012. Celles des pays en développement, qui sous le Protocole n'ont pas d'engagements de réductions d'émissions d'ici 2012 pourront en revanche encore croître pendant quelques temps, conformément au « mandat de Berlin » donné lors de la première conférence des parties à la Convention sur le changement climatique (UNFCCC) en 1995. Ce dernier reconnaît en effet la responsabilité commune mais différente des pays dans le changement climatique. Dans un premier temps les pays industrialisés doivent montrer la voie car les émissions par habitant dans les pays en développement sont actuellement en général dix à vingt fois plus faibles que celles des Nord-américains et quatre à six fois moindres que celles des Européens ou des Japonais

La stabilisation des concentrations d'ici le milieu ou la fin de ce siècle implique très schématiquement de diviser les émissions mondiales actuelles par 2 ; c'est-à-dire par 4 dans les pays industrialisés (plus encore aux Etats-Unis et au Canada) ; dans les pays en développement, après une augmentation, il faudra aussi revenir, grâce à d'autres technologies et d'autres infrastructures, à un niveau d'émissions proche de 1990 !

La fig. 1 montre les évolutions que devraient suivre les courbes d'émissions de gaz à effet de serre - au niveau mondial, des pays industrialisés et des pays en développement - , pour stabiliser les concentrations de GES dans l'atmosphère, à 450 ppm

Pour des stabilisations à des niveaux plus élevés, par exemple 800 ppm, que d'aucuns considèrent déjà comme très dangereux, il faudra également les ramener au même niveau, mais à un horizon plus lointain (GIEC 1996)

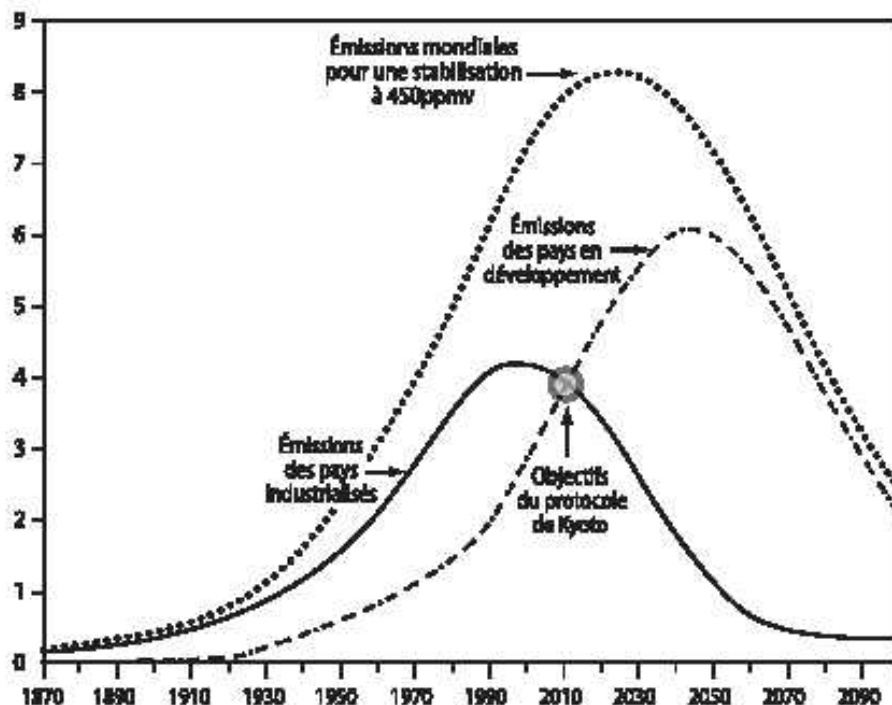


Figure 1 Evolutions des émissions de gaz à effet de serre - au niveau mondial, des pays industrialisés et des pays en développement- pour stabiliser les concentrations de GES dans l'atmosphère à 450 ppm.

## 2/ DES SPECIFICITES DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORET INSUFFISAMMENT RECONNUES PAR LES SPECIALISTES DES AUTRES SECTEURS

Plusieurs aspects distinguent les activités agricoles et forestières des autres secteurs

- Certes comme dans tous les autres secteurs les conversions des phytomasses génèrent des émissions de GES (« sources de GES»)
- La photosynthèse conduit cependant à la conversion de l'énergie solaire en énergie biochimique stockée et utilisable ensuite, le moment venu, pour réduire les consommations d'énergie fossiles, donc les émissions de gaz à effet de serre d'origine fossile. **C'est là une première externalité environnementale extrêmement intéressante et spécifique de ce secteur.**
- Dans le même temps cette photosynthèse conduit aussi à l'absorption de gaz carbonique de l'air, ce qui peut contribuer à la diminution de concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère. **(Deuxième externalité positive spécifiques de ce secteur).**
- A la différence du stockage géologique du gaz carbonique qui demande de l'énergie souvent non renouvelable et des sources de gaz carbonique concentrées et importantes, la capture et le stockage de gaz carbonique dans la végétation s'effectuent naturellement, sans qu'il soit nécessaire d'avoir de fortes concentrations de ce gaz. Et il conduit toujours, dans le même temps, à la bioconversion et au stockage d'énergie solaire.
- Les phytomasses ainsi produites, quand elle sont récoltées peuvent servir non seulement à la production d'aliments et d'énergie, mais aussi à celles de bioproduits permettant d'économiser des produits d'origines fossiles ; du bois, du caoutchouc naturel et des fibres; de la fonte brute produite avec du charbon de bois au lieu de charbon minéral ; du bois à la place de l'aluminium dont la production est non seulement fortement consommatrice d'énergie, mais aussi émettrice d'autres gaz à effet de serre industriels très puissants comme le PFC; du bois à la place des poteaux en béton dont la fabrication (et la destruction) nécessite non seulement beaucoup d'énergie, mais aussi la décomposition de roches engendrant des émissions de CO<sub>2</sub> etc...
- Les quantités de carbone et d'énergie stockées dans les biomasses et dans les sols via la photosynthèse peuvent en revanche varier dans le temps ; elles diminuent par suite de déboisements, d'incendies ou de récoltes trop importantes de phytomasses, notamment par des surexploitations des forêts. Elles peuvent aussi augmenter dans certaines conditions, par suite par exemple de boisement de terres agricoles (Dameron et al. 2005), de gestions sylvicoles visant à retarder les exploitations forestières ou à changer d'espèces, ou encore à la suite de gestions particulières des sols, par exemple la suppression de labours (IPCC 2000, Arrouays et al. 2002). C'est ce qu'on appelle parfois des « puits » (Riedacker 2004 b) ;<sup>2</sup>
- L'utilisation des biomasses non alimentaires réduit généralement les émissions nettes de GES en permettant le remplacement de combustibles fossiles, de ciment etc. ou/et en stockant du carbone. Elle permet parfois aussi des économies d'énergie dans la mise en oeuvre et dans la destruction des matériaux. .
- On peut également optimiser la réduction des émissions de GES dans la nutrition humaine en optimisant l'élevage et parfois aussi en modifiant les régimes alimentaires.

### (3) LES BILANS ACTUELS DES EMISSIONS DE L'AGRICULTURE SUIVANT DIVERSES COMPTABILITES, DONT CELLES SOUS LA CONVENTION SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES.

Les inventaires des émissions de GES que chaque pays doit fournir au Secrétariat de la Convention sur le climat ont pour objectif premier de recenser les émissions de la manière la plus exacte, la plus transparente et la plus vérifiable possible. Aussi sont-elles recensées par secteur, ce qui à l'avantage d'éviter les doubles comptages et les oublis (GIEC 1996, 2000, 2003 et à paraître en 2006). Avec cette approche les émissions de GES des activités agricoles et forestières, en excluant les variations de stocks de carbone dans les biomasses, dans les sols ou le bois, atteignent des niveaux non négligeables ; de 15 à 25% ou plus des émissions totales dans les pays industrialisés, (le cas de la France est donné ici seulement pour illustrer le propos cf. tableau 1), et jusqu'à plus de 90% des émissions totales dans certains pays peu développés. Si cette approche peut convenir pour les secteurs seulement émetteurs de gaz à effet de serre, tel n'est pas le cas, et il faut y insister avec force, pour les ensembles « agriculture, forêts, biomasses»:

---

<sup>2</sup> Notons que nous ne traitons pas ici des comptabilités spécifiques concernant l'agriculture et les forêts pour la première période d'engagement sous le Protocole de Kyoto, (cf. pour cela MIES 2002, Riedacker 2003, 2004 b)

**Tableau 1 Inventaires, suivant diverses comptabilités, des émissions de gaz à effet de serre du territoire français en 1990, en MteqCO<sub>2</sub> (millions de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>), notamment sous le format de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) d'après CITEPA (20/12 2005).**

Types de comptabilité	Détails	En 1990 MteqCO <sub>2</sub>	Bilan 1990 des émissions % de I (% de II)
(I) ÉMISSIONS EN FRANCE (HORS VARIATIONS DUES AUX CHANGEMENTS D'UTILISATIONS DES TERRES ET DE LA FORESTERIE) FORMAT CCNUCC <sup>3</sup>		566,2	100% -
(II) ÉMISSIONS « NETTES » EN FRANCE COMME (I), MOINS LES EMISSIONS PROVENANT DES CHANGEMENTS D'UTILISATIONS DES TERRES ET DES FORETS (Cf. IV) FORMAT CCNUCC		542,7	96% (100%)
(III) EMISSIONS COMPTABILISEES SOUS LA RUBRIQUE « AGRICULTURE » (FORMAT CCNUCC)	Méthane 42% <sup>4</sup> Protoxyde d'azote 58% <sup>5</sup>	+107,7	19% (20 %)
(IV) « SOURCES » ET « PUIITS » DES CHANGEMENTS D'UTILISATION DES TERRES ET DES FORETS (FORMAT CCNUCC)	Changements de stocks dans les biomasses (accroissement du stock en forêt et hors forêts) - 41,7 Déboisements, suppression des prairies +11,2 <sup>6</sup> Emissions nettes du CO <sub>2</sub> des sols +3,8 Autres + 3,3 <sup>7</sup>	-23,5 <sup>8</sup>	15% (15,5 %)
(V) Comme (IV) + (a) utilisation de combustible fossile dans ces secteurs (tracteurs etc.) + (b) émissions provenant de la fabrication des engrais minéraux	(a) Carburant +10  (b) Engrais + 8,7 <sup>9</sup>	18,7	18% (18,9 %)
(VI) Comme (V) + (a) réductions d'émissions dues aux utilisations biomasses pour l'énergie et + (b) à l'augmentation des stocks de carbone dans le bois	(a) Bioénergies <sup>10</sup> -19,7  (b) Variation du stock de carbone dans les constructions <sup>11</sup> -4.4	-24,1	14% (14,5%)
(VII) Autres émissions indirectes pour l'agriculture (bâtiments, constructions de matériels etc. mais hors industries agroalimentaires)		+12	(16,7%)

<sup>3</sup> Les émissions autorisées sous le Protocole de Kyoto sont calculées sur la base de ces émissions c'est-à-dire sans les émissions ou absorptions recensées en IV (C'est-à-dire sans les émissions ou absorptions de CO<sub>2</sub> du sol, mais en prenant en compte les émissions de protoxyde d'azote des sols). Pour la France, qui doit stabiliser ses émissions, celles-ci ne devront pas dépasser cette valeur, y compris en prenant en compte les crédits ou débits sous les articles 3.3 (à prise en compte obligatoire), et les crédits sous l'article 3.4 ou provenant des projets sous le Mécanisme de Développement Propre c'est à dire provenant d'options facultatives.

<sup>4</sup> Dont 69% des fermentations entériques et 30% de la gestion des déjections animales.

<sup>5</sup> Dont 89% proviennent des apports d'amendements organiques et minéraux

<sup>6</sup> Dont 96% attribuables aux émissions de CO<sub>2</sub> et les reste à du méthane (CH<sub>4</sub>) et de l'oxyde d'azote (N<sub>2</sub>O)

<sup>7</sup> Dont 86% attribuables aux émissions de N<sub>2</sub>O

<sup>8</sup> Les réductions d'émissions sont affectées d'un signe négatif.

<sup>9</sup> Dont 1,72 sous forme de CO<sub>2</sub> pour la fabrication en France des engrais azotés (60% des engrais sous forme d'ammoniaque étant importés + 7 pour les émissions de N<sub>2</sub>O résultant de la conversion de l'ammoniaque en nitrates (on suppose que 100% des nitrates sont fabriqués en France. (Estimations d'après UNIFA et plan climat)

Si la totalité des émissions résultant de la fabrication des engrais consommés en France étaient comptabilisés en France les émissions atteindraient 11,3 Mteq CO<sub>2</sub>. Mais sous le format CCNUCC on ne comptabilise que les émissions émises dans chaque pays. Les émissions, hors France, des produits importés ne sont donc pas comptabilisés.

<sup>10</sup> En considérant que les 9 Mtep d'énergie primaire consommées sont converties avec un rendement moyen de 45%, que le fuel économisé est converti avec un rendement de 80% et qu'une tep de pétrole bord de chaufferie émet 3,9 t de CO<sub>2</sub> (seulement 3,2 t de CO<sub>2</sub> quand on ne comptabilise pas son transport et son raffinage cf. Riedacker GBE 2006)

<sup>11</sup> D'après Lochu 1999 cf. Riedacker 1999

Les bilans se modifient en effet quand on prend en compte tout l'espace rural, c'est à dire également les forêts, dont les surfaces et les stocks de carbone varient au cours du temps. Or ces variations dépendent en partie de l'âge et de l'évolution des peuplements forestiers ; les stocks des biomasses des forêts en pleine croissance augmentant annuellement plus rapidement que ceux des peuplements âgés, des forêts vierges ou des sols.

Lorsque l'on tient compte des émissions de combustibles fossiles par l'agriculture ces niveaux augmentent à nouveau légèrement. Mais il faut aussi souligner que, contrairement à ce qui est souvent avancé, l'agriculture est relativement peu consommatrice d'énergies fossiles (moins de 3% de la consommation d'énergie finale en France en 1990). Ce qui ne signifie pas que l'on ne puisse pas y réduire les consommations, donc les émissions de GES, en réduisant par exemple le nombre de passages des tracteurs, en réglant mieux les tracteurs ou en évitant les excès de fertilisation.

De plus les biomasses produites par les espaces ruraux peuvent réduire les émissions de gaz à effet de serre d'origine fossile, en remplaçant ou en économisant de l'énergie fossile, y compris dans les mises en oeuvre des matériaux. Les utilisations accrues de bois renouvelé pour le chauffage, en remplacement du fioul ou du charbon, ou dans les constructions (avec du bois à la place du béton), se traduisent certes par des réductions d'émissions reflétées dans les émissions par pays. L'approche sectorielle des inventaires du GIEC ne montre cependant pas cette contribution au niveau de l'agriculture ou des forêts, mais seulement au niveau de l'habitat. Il en est de même pour la production de biocarburants dont les réductions d'émissions engendrées ne sont visibles que dans le secteur des transports. Les émissions de gaz à effet de serre peuvent donc augmenter dans l'agriculture, par exemple quand on produit davantage de phytomasses par hectare en utilisant des engrais, tout en réduisant globalement les émissions quand on replace les actions de manière plus intégrée ! Le tableau 1 montre à quel point les résultats diffèrent selon les comptabilités.

Il faut en outre noter que, par construction, ces inventaires sectoriels ne recensent pas non plus les émissions concernant l'agriculture ayant lieu hors de l'espace rural, par exemple les émissions provenant des fabrications des engrais azotés ; (ces dernières émettent non seulement du CO<sub>2</sub> mais aussi, dans le cas des nitrates, du N<sub>2</sub>O<sup>12</sup>) ! Si ces engrais sont fabriqués à l'étranger, les émissions ne sont pas du tout comptabilisées ! Il en est de même pour les émissions provenant des transports internationaux<sup>13</sup> Ainsi un pays important la majorité de ses produits alimentaires ou de ses engrais émettra, d'après cette comptabilité, nationalement moins de gaz à effet de serre qu'un pays produisant la nourriture et les engrais qu'il consomme ! Il faudra donc à long terme replacer les approches non seulement dans l'ensemble de chaque comptabilité nationale, mais aussi au niveau mondial en tenant compte des importations et des exportations de produits.

#### **(4) DES APPROCHES INTEGREES PRENANT EN COMPTE LES EMISSIONS NETTES PROVENANT DE LA GESTION DES ESPACES RURAUX ET DE L'UTILISATION DES BIOMASSES<sup>14</sup>**

Pour déterminer les contributions résultant des ensembles « gestions des territoires et utilisations des phytomasses » il faut prendre en compte les émissions et les réductions d'émissions provenant de trois niveaux.

- [I] Un niveau territorial comprenant
  - (I a) l'utilisation des terres (UT) [par exemple les labours plus ou moins fréquents, les fertilisations, les installations de plantes de couverture, les changements d'espèces ligneuse ou de plantes des prairies, des sur ou sous exploitations des forêts ou des pâturages, des installations d'espèces ligneuses agroforestières etc.] ;
  - (I b) les changements d'utilisation des terres (CUT) [par exemple les déboisements, les reboisements anthropiques ou spontanés, la suppression des prairies, la remise en prairies de terres cultivées etc.]
- [II] Les conversions des phytomasses récoltées
  - (IIa) en aliments sans passer par les animaux (IIa<sub>1</sub>) ou via les animaux (IIa<sub>2</sub>),
  - (IIb) en bioproduits (matériaux et matières premières) susceptibles de remplacer ou d'économiser des produits fossiles.
  - (II c) en bioénergies ; en biocombustibles [bois de chauffage, plaquettes de bois, granulés, charbon de bois, huile, sucre etc] pour la production de chaleur, d'électricité ou de biocarburants liquides.
- [III] Les émissions en amont et en aval des activités agricoles et forestières et des conversions des biomasses, c'est-à-dire

<sup>12</sup> Un gaz à effet de serre à potentiel de réchauffement, à poids égal, environ 300 fois supérieur à celle du CO<sub>2</sub>

<sup>13</sup> Les carburants des soutes ne sont pas pris en compte dans les comptabilités sous le Protocole de Kyoto

<sup>14</sup> Les biomasses comprennent les phytomasses et les biomasses animales résultant des conversions des phytomasses.

- (III a) les émissions déterminées par les fins de vie des produits [par exemple des fuites de CO<sub>2</sub> après épuration du gaz naturel, des combustions des produits ou de leur décomposition à l'air, de l'élimination du CO<sub>2</sub> par stockage géologique, des fuites de méthane des décharges etc.];
- (III b) les émissions résultant de la production des intrants [par exemple des amendements, de la conservation des aliments (fuites de CFC et HFC), de la fabrication des machines pour l'agriculture, les industries agroalimentaires, les transports, ou encore des pesticides etc.];
- (III c) les émissions résultants des transports [des intrants, des amendements divers et des produits de l'agriculture et des forêts jusqu'au consommateur final].

Cette approche souligne la nécessité de prendre en compte simultanément tout l'espace, en particulier les espaces agricoles et forestiers, un horizon temporel d'au moins 50 ans, toutes les conversions et utilisations des phytomasses et des biomasses, les émissions en amont et en aval de la production agricole et forestière ; et enfin les émissions de GES évitées par les divers usages des phytomasses récoltées. La figure 3 schématise le système qu'il s'agit de prendre en compte.

Les figures 1 et 2 représentent l'ensemble du système à prendre en compte. La première précise les différents niveaux à retenir et la seconde représente l'ensemble du système avec notamment les échanges internationaux et les interférences avec les émissions de combustibles fossiles.

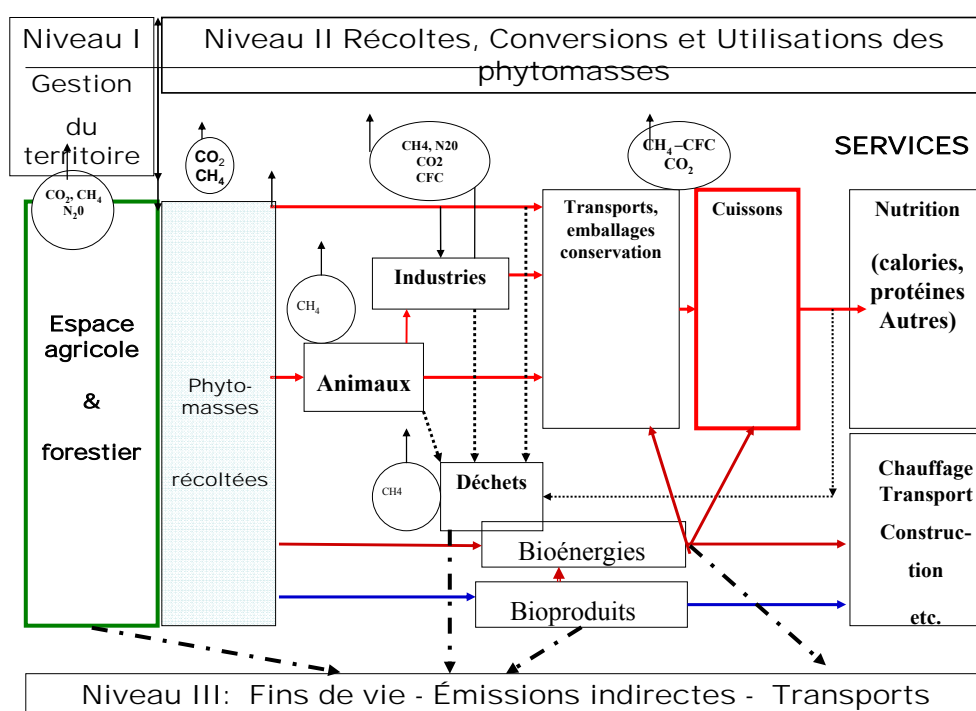


Fig. 1 : Le système de production et de conversion des approches intégrées, avec les trois niveaux d'émissions nettes ou évitées à prendre en compte ;

- (I) Les gestions territoriales, par suite de l'utilisation des terres [(UT ou I a) : fertilisation labours drainages, irrigation, cultures dérobées etc.]..et des changements d'utilisation des terres [(CUT ou I b) ; conversions des terres cultivées en prairies ou en forêts, ou inversement
- (II) Les récoltes des phytomasses, leurs conversions en aliments, en énergie ou en bioproduits et leurs utilisations évitant éventuellement des émissions de GES.
- (III) L'amont et en aval de la production agricoles y compris les transports, jusqu'au consommateur final.

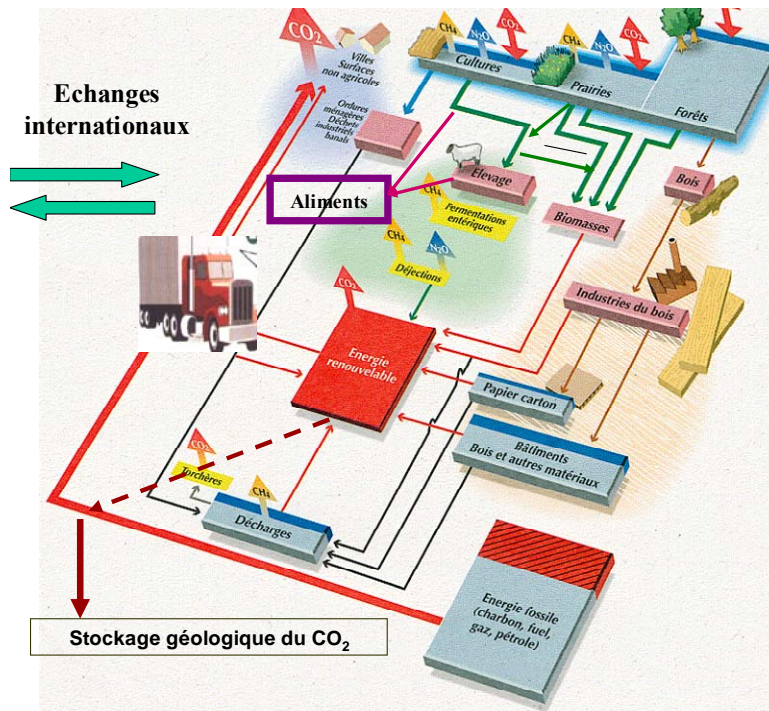


Fig. 2 Schéma du système à prendre en compte dans les approches intégrées, y compris les transports et les interférences avec les consommations de combustibles fossiles.

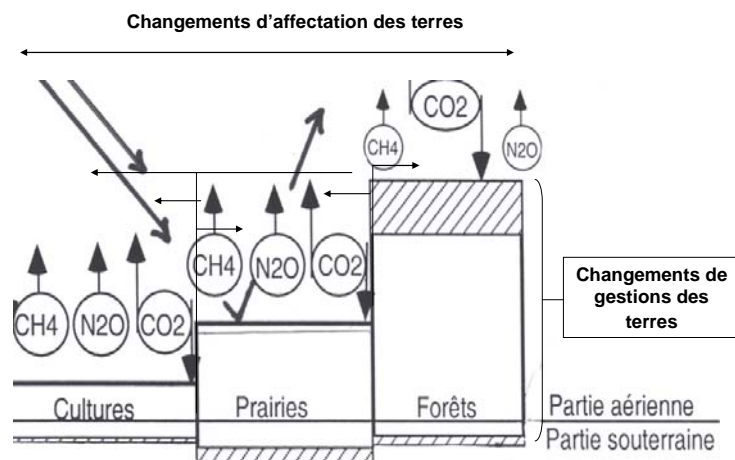


Fig. 3 Emissions au niveau territorial

Niveau I a : Emissions résultant de la gestion du territoire (méthane, protoxyde d'azote et gaz carbonique) à affectations de terres inchangées. Niveau I b : émissions résultant des changements d'utilisations des terres (boisements, déboisements conversions des pâturages en cultures etc.)

La figure 4 concerne le Niveau II a relatif à la conversion des phytomasses en protéines par les animaux. A ce stade il faut prendre en compte les fermentations entériques qui peuvent évidemment être réduites par le type d'alimentation du bétail, les déjections animales, mais aussi les possibles réductions du nombre d'animaux, à condition que l'on puisse utiliser l'espaces rural pour des cultures alimentaires. On y prend également en compte les émissions de N<sub>2</sub>O et de CH<sub>4</sub><sup>15</sup> des déjections animales.

<sup>15</sup> Un gaz au potentiel de réchauffement environ 23 fois plus important que celui du CO<sub>2</sub>

**Améliorer la digestibilité pour réduire la production de méthane**

**=> Plus de légumineuses ? Meilleurs rendements ?**

**Meilleure gestion des déjections animales**

**Réduire la part de l'élevage ?**

**=> Moins de fermentations entériques donc de CH<sub>4</sub> (~ moitié des émissions brutes agri.)**

**Moins de céréales et de protéines pour les animaux**

**=> plus de terres pour des biomasses non alimentaires**

**=> des plantes riches, plus riches en protéines pour l'alimentation humaine ...**



**Fig. 4 Les conversions des phytomasses en protéines pour l'alimentation humaine.**

**Les consommations d'énergie provenant des conversions des phytomasses en aliments en France en 1990 (Niveaux I à III)**

Le tableau 2 ci-dessous indique les consommations d'énergie de la filière alimentaire en France d'après Barbier (200). On peut remarquer les poids importants des transports dans le bilan final

Nous avons fait une estimation provisoire des émissions de GES correspondantes. Mais pour être précis il faudrait mieux connaître les types d'énergie utilisés pour la cuisson dans les industries agroalimentaires, car les émissions de GES d'une tep d'énergie produite avec différents types de combustibles et de l'électricité obtenue de diverses manières varient considérablement. Il faudrait aussi y ajouter les émissions de CFC (dont l'élimination est prévue sous le Protocole de Montréal) et des HFC (comptabilisés sous le Protocole de Kyoto) utilisés dans la réfrigération et la conservation des aliments. Les estimations présentées pour les émissions de gaz à effet de serre de la filière agroalimentaire sont donc provisoires. Il faudrait enfin tenir compte des importations et des exportations dans le cadre des comptabilités du type CCNUCC. Le détail de ces calculs provisoires, et les hypothèses retenues, sont présentés en notes du tableau.



**Tableau 2 Consommation d'énergie pour la satisfaction des besoins alimentaires en France en 1990, d'après C Barbier pour l'énergie et A Riedacker pour les émissions de GES (2001) (Niveaux I à III)**

	Consommation d'énergie en Mtep			Evaluation provisoire des émissions de gaz à effet de serre <sup>16</sup>	
	Détails Mtep	Total par catégorie Mtep	% des consommations par catégorie	Par catégorie MteqCO2	% des émissions
<b>I et II a, PRODUCTION AGRICOLE</b>	4,3 <sup>17</sup>	4,3	10,5 %	117,7 <sup>18</sup>	68%
<b>II a CONVERSIONS PAR LES INDUSTRIES AGRO-ALIMENTAIRES</b>	6,2	6,2 <sup>19</sup>	15,1 %	5,7 <sup>20*</sup> (24,18 <sup>21</sup> )	3%
<b>II CONSOMMATIONS DANS L'HABITAT</b>		7,8	19 %	7,25 <sup>22*</sup>	4%
Cuisson	3,0				
Conservation froid	4,3				
Lave vaisselle	0,5				
<b>III<sub>3</sub> TRANSPORTS</b>		6,9	17 %	26,9	16%
Poids lourds	3,4				
VUL	0,5				
Achats par les ménages en automobile	2,6				
Transport domicile travail	0,4				
<b>III<sub>2</sub> EMISSIONS INDIRECTES</b>		15,7	38,4 %	14,6 <sup>23*</sup>	8,5%
Bâtiments agricoles	1,9				
Produits industriels pour l'agriculture et les industries agro-alimentaires	6,9				
Produits industriels pour les ménages	3				
Commerce des produits	3,5				
Services aux entreprises	0,5				
<b>Total</b>		40,9	100%	172,2* (ou + de 190 <sup>24</sup> )	100%

\*chiffres sans doute sous évalués à cause, de la non prise en compte des CFC, des HFC, des autres GES ainsi que des utilisations supposées principalement d'électricité dans l'habitat et dans les industries agroalimentaires.

<sup>16</sup> Pour donner un ordre de grandeur provisoire on a fait les hypothèses suivantes : Sachant qu'on ne dispose pas pour le moment d'indications sur les fuites de CFC (comptabilisés sous le Protocole de Montréal), de HFC comptabilisés sous la Convention climat, et en partie sous le Protocole de Kyoto), les émissions ces gaz n'ont pas été comptabilisées.

On a aussi supposé que les consommations d'électricité pour la cuisson s'élevaient à 80g de CO<sub>2</sub> par KWh (moyenne du contenu énergétique du KWh électrique en France – aux Pays Bas ce contenu était de 453 g par KWh électrique) ce qui n'est qu'une première approximation. Une partie de la cuisson s'effectue en effet avec du gaz. Il faudrait alors connaître les fuites de gaz, y compris dans les réseaux, depuis la source, pour pouvoir faire un bilan précis.

<sup>17</sup> En supposant qu'il s'agisse surtout de carburants, les émissions correspondantes s'élèvent à 16,7 Mt CO<sub>2</sub> auxquels il faut ajouter les émissions de GES de l'agriculture de 107,7 Mteq CO<sub>2</sub>

<sup>18</sup> D'après le tableau 1, (en supposant que les émissions des produits importés sont compensés par les émissions des produits exportés, ce qui reste à préciser) on a 107,7 Mteq CO<sub>2</sub> (pour cultures et élevage) + 10 Mteq CO<sub>2</sub> (pour la motorisation)

<sup>19</sup> En 1999 le CEREN estimait les consommations d'énergie des industries agroalimentaires à 7,0 Mtep sur une consommation totale par l'industrie de 56,6 Mtep, les économies possibles à 1,8 Mtep et les quantités de CO<sub>2</sub> évitables à 4,5 Mteq CO<sub>2</sub>.

<sup>20</sup> Avec une émission de 80 g de CO<sub>2</sub> par KWh électrique (France), 1tep sous forme d'électricité émet 0,93 t de CO<sub>2</sub>. Aux Pays Bas cette émission serait de 5,3 t de CO<sub>2</sub> par tep.

<sup>21</sup> Avec du pétrole 1tep d'énergie primaire consommée émet 3,9 t CO<sub>2</sub> (en tenant compte du transport et du raffinage)

<sup>22</sup> On suppose ici qu'on ne consomme que de l'électricité

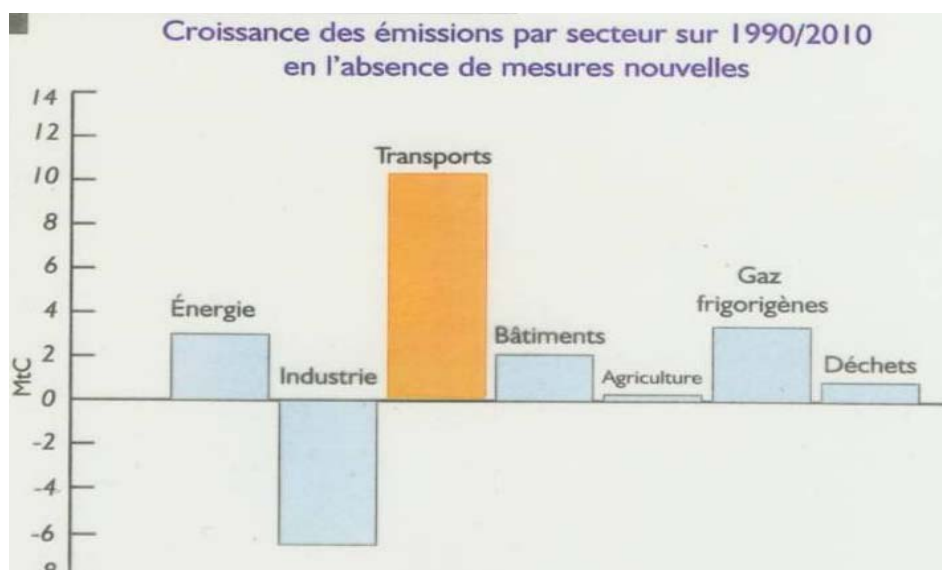
<sup>23</sup> En supposant qu'on ne consomme que de l'électricité, ce qui conduit certainement à une sous évaluation

<sup>24</sup> Sans compter les fuites de CFC et de HFC

## Les transports de marchandises

Les émissions résultant de la totalité des transports nationaux sont loin d'être négligeables. Les activités agricoles et forestières sont également concernées par ces émissions qui proviennent par exemple des transports des intrants (engrais) et surtout des produits finis (aliments, bois etc.) A titre d'exemple les haricots frais produits localement et consommés aux Pays Bas émettent quatre fois moins de gaz à effet de serre que des haricots congelés, et vingt fois moins que des haricots importés d'Afrique par avion .

Plus que dans les autres secteurs les émissions y sont difficiles à maîtriser. La figure 5 montre l'évolution spontanée des émissions par secteurs, entre 1990 et 2010 en France. On constate que c'est dans celui des transports que les augmentations des émissions de GES sont les plus importantes (PNLCC 2000) : En l'absence de toute mesure nouvelle; ces émissions explosent alors que dans le secteur industriel elles continueront à diminuer. Etant donné la faible élasticité par rapport aux prix, il faudrait augmenter très fortement les prix des carburants pour obtenir une réduction significative dans les transports routiers de marchandises. Ce qui n'est guère faisable politiquement. Il faudra donc explorer d'autres voies ; des investissements spécifiques pour favoriser le transport ferroviaire ou maritime, pour réduire le fret routier et aérien, des recherches pour inciter à des localisations différentes des productions agricoles etc.....



**Fig.5 Evolution des émissions de GES en France par secteur en l'absence de mesures nouvelles (source PNLCC 2000)**

## 5 LA MINIMISATION DES EMISSIONS DE GES

Il s'agit en fin de compte de minimiser les émissions nettes résultant de l'utilisation d'un territoire et de la conversion et de l'utilisation des biomasses dans un pays (une région, voir une exploitation agricole) replacées dans le contexte sociétal (avec toutes les utilisations des phytomasses et des biomasses), en prenant en compte les émissions entre des années  $i$  et  $j$  calculés avec l'équation suivante :

$$\text{Emissions nettes de GES}_{de\ i\ à\ j} = \Sigma \text{émissions de GES}_{de\ i\ à\ j} - \Sigma \text{émissions évitées}_{de\ i\ à\ j}$$

Avec

- $\Sigma$  **émissions de GES** pour l'année  $i$  =  $\Sigma$  GES autres que le CO<sub>2</sub> biotique des espaces ruraux (terres cultivées + pâturages + forêt + autre territoires) -  $\Sigma \Delta cs$  dans les espaces (terres cultivées + pâturages + forêt + autre territoires) +  $\Sigma$  émissions directes et indirectes de GES résultant de la conversion des phytomasses en produits alimentaires, en bioproduits et en bioénergies -  $\Sigma \Delta cs$  dans les bioproduits

Avec  $\Delta cs$  = Variation de stock de carbone biotique dans l'espace rural et dans les bioproduits

- $\Sigma$  **émissions évitées**  $i$  dans l'année  $i$  =  $\Sigma$  émissions évitées résultant des réductions de consommations de produits fossiles et des autres gaz à effet de serres non émis durant les

productions +  $\Sigma$  du CO<sub>2</sub> biotique stocké géologiquement<sup>25</sup> -  $\Sigma$  des émissions provenant de la capture et du stockage géologique de CO<sub>2</sub>.

Il s'agit en fin de compte ici de minimiser les émissions de ces systèmes tout en satisfaisant les besoins de survie et de confort des habitants, mais en évitant les émissions de gaspillages ou de luxe ! .

C'est en général au niveau des pays que l'on pourra le plus facilement effectuer ce genre d'analyses, car c'est souvent seulement à ce niveau que l'on dispose des statistiques indispensables, y compris sur les exportations et les importations.

Cette approche du type « *UT- CUT - CB et A&A* » considérant l'Utilisations des Terres, les Changements d'Utilisation des Terres, les Conversions des Biomasses et les émissions et émissions évitées des activités en Amont et en Aval de l'agriculture et de la foresterie donne un éclairage plus cohérent sur les évolutions qu'il serait souhaitable de favoriser à long terme pour réduire globalement les émissions de GES, et cela tant dans les pays industrialisés que dans les pays en développement.

En effet pour déterminer les réductions d'émissions résultant par exemple de biocarburants entraînant des réductions de consommations de gazole on pourrait par exemple s'appuyer sur des analyses de cycles de vie (Normes ISO 140040 à 14043). (ADEME et al. 2002, Machado et al. 2004) et les facteurs d'émissions proposés par le GIEC ou calculés spécifiquement pour chaque pays. Ces approches très utiles présentent cependant l'inconvénient de ne pas tenir compte des différents usages possibles des terres et en particulier du fait que la principale limitation pour les productions de biomasses – dans une optique visant à diviser les émissions mondiales actuelles de GES par 2- résulte de la limitation de l'espace disponible ! On n'y considère pas qu'il faut maximiser les productions de phytomasses pour l'énergie par unité de surface, ni qu'il faut minimiser les réductions d'émissions de GES que l'on peut obtenir par unité de surface. Ils se placent résolument dans un monde où domine l'énergie fossile et où la production d'énergie ne consomme pas de surface.

Ils présentent par ailleurs des difficultés méthodologiques quand il y a plusieurs productions (par exemple des tourteaux et de l'huile végétale). C'est pourquoi nous proposons une approche intégrée qui prenne en compte non seulement

(1) les gains nets (calculés en s'appuyant sur plusieurs analyses de cycles de vie) résultant des diverses utilisations potentielles de biomasse susceptibles d'être produites sur un territoire donné, mais également

(2) l'utilisations des terres (agricoles et non agricoles), et

(3) les changements d'utilisation des terres.

Cette approche est la seule, selon nous, qui permette une modélisation cohérente des contributions de l'espace agricole et forestier et de leurs produits jusqu'en fin de vie à la réduction des émissions de GES.

## 6 UNE REVOLUTION TRIPLEMENT VERTE

Au niveau I il s'agit d'accroître les productions de phytomasses et de biomasses à des fins non alimentaires, tout en assurant la satisfaction des besoins en aliments d'une population mondiale qui augmentera encore de 50% au cours de la première moitié du 21<sup>ème</sup> siècle !

**Il s'agit donc de devenir plus efficace dans l'utilisation des terres à la fois pour satisfaire les besoins alimentaires et les besoins non alimentaires élémentaires.**

Cette disponibilité en terres, notamment pour les productions de biomasses non alimentaires, va devenir centrale dans la contribution de l'agriculture et des forêts à la division par deux des émissions mondiales de GES. Or celle-ci dépend de la production annuelle par hectare ; des rendements, du nombre de cultures par an, de la superposition des cultures<sup>26</sup>, des apports d'amendements et d'eau, des espèces cultivées etc. Nous montrons un peu plus loin comment les progrès technologiques ont permis, depuis un siècle et demi, de réduire considérablement en France les besoins en terres par tonne de céréale produite.

Elle dépendra également du type de consommation alimentaire ; les productions de calories végétales demandant deux à trois fois moins de terres que celles de viande blanches de poulet ou de porc, et 6 à 7 fois moins que celle de viandes rouge des bovins (Malassis 1994). Il est donc préférable, de ce point de vue, d'opter pour des régimes alimentaires moins riches en viandes rouges, pour autant que le milieu naturel permette une exploitation directe par l'agriculture, ce qui n'est pas toujours le cas ; ainsi dans les zones semi-arides du Sahel, dans les toundras, ou la haute montagne les ruminants (les bovins, les chèvres, les chameaux

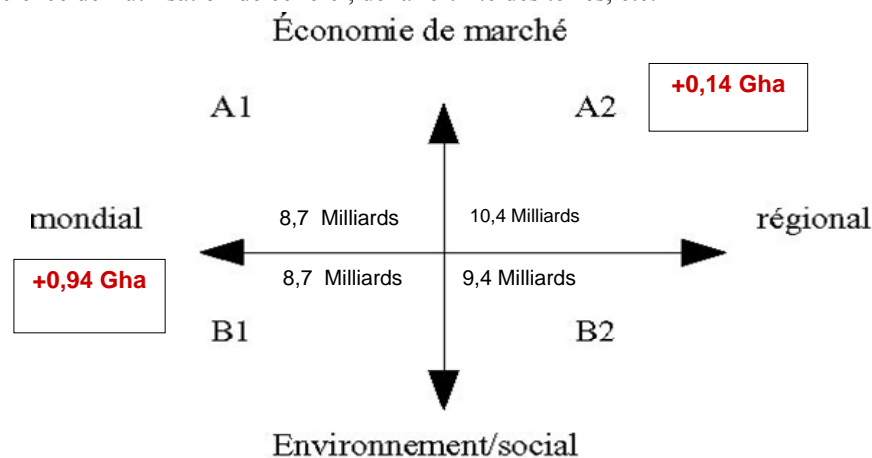
<sup>25</sup> Car le CO<sub>2</sub> des biomasses pourrait aussi être stocké géologiquement en cas de co-combustion de charbon et de biomasses ou de tourbe et de biomasses.

<sup>26</sup> Avec l'agroforesterie intensive on peut par exemple perdre un peu au niveau de la production agricole principale par unité de surface, mais obtenir une production totale par unité de surface plus importante.

et les rennes) restent les « machines » les plus performantes pour récolter et transformer les phytomasses en produits alimentaires !

La disponibilité des terres pour les productions non alimentaires dépend enfin également de la croissance démographique. La figure 6 montre par exemple les disponibilités en terres agricoles suivant deux scénarios extrêmes du GIEC (A2 et B1) en tenant compte de la modélisation du RIVM (Dameron et al. 2005) ; dans le premier cas seulement 140 millions d'hectares sont susceptibles de devenir vacants d'ici 2050 contre 940 millions d'hectares sous le scénarios B1, plus ouvert aux progrès technologiques et aux questions environnementales et sociales.

C'est en utilisant cette approche que nous avons pu étudier les contributions possibles à la réduction des émissions de gaz à effet de serre de divers types de boisements sur des terres agricoles devenant vacantes d'ici 2050 (Dameron et al 2005, Riedacker et al. 2006 ). Sous le scénario A2 à faible disponibilité en terres l'évolution est la moins favorable. Entre 2050 et 2100 il faut même déboiser, ce qui évidemment augmente beaucoup les émissions de GES. Hodgewicjk et al. (2004) aboutissent à des conclusions similaires. Pour augmenter la contribution des espaces ruraux aux réductions d'émissions de gaz à effet de serre il faut donc augmenter les productions par unité de surface tout en réservant des espaces pour préserver la biodiversité et la migration des espèces. Les facteurs limitants dépendent alors des niveaux acceptables des autres types de pollutions ; de celui des nappes d'eaux par les nitrates, par les phytocides et pesticides, de la disponibilité en eau et de l'efficacité de l'utilisation de celle-ci, de la fertilité des terres, etc.



**Figure 6** L'évolution des terres devenant disponibles sous deux scénarios extrêmes du GIEC (A2 et B1 sous lesquels respectivement 140 millions d'hectares et 940 millions d'hectares de terre peuvent devenir disponibles d'ici 2050) (Dameron et al. 2005)

En fin de compte il faut donc inventer des agricultures et des forêts plus productives par unité de surface, moins nocives pour la santé, moins polluantes, plus efficaces dans l'utilisation de l'eau disponible<sup>27</sup> préservant les sols, mais maximisant également la réduction des émissions de GES grâce à de meilleures valorisations des phytomasses.

**Ce qui suppose de s'acheminer d'ici 2050 vers une révolution agricole et forestière triplement verte ; (1) plus productive par unité de surface, (2) respectant l'environnement local et (3) prenant en compte les changements climatiques, c'est-à-dire maximisant les réductions d'émissions de GES et prévoyant des adaptations pour la biodiversité ainsi que des couloirs de migration pour les espèces menacées par ces changements climatiques<sup>28</sup> Il faudra évidemment aussi tenir compte de la santé des consommateurs. Faute de place nous ne pouvons détailler ce point ici**

## 7 DES INDICATEURS

Pour évaluer les progrès il faut disposer de deux types d'indicateurs ; -l' « efficacité de l'utilisation des terres » indiquant la surface nécessaire pour produire une tonne de produit

<sup>27</sup> « More crop per drop of water » (plus de production par goutte d'eau) est par exemple devenue la devise de la recherche agronomique en Inde.

<sup>28</sup> Les révolutions doublement vertes prônées par ailleurs prennent essentiellement en compte la préservation de l'environnement local et de la biodiversité, mais sans tenir compte explicitement du changement climatique, notamment de la nécessaire contribution des espaces agricoles et forestiers et des biomasses (alimentaires et non alimentaires) à la réduction des émissions de GES et à la production d'énergie.

+ les besoins en surface pour nourrir les animaux - les gains en surface qui peuvent être obtenues grâce à d'autres cultures au cours de la même année sur la parcelle considérée.

Ce critère est comparable en quelque sorte au concept d'intensité énergétique utilisé par les énergéticiens.

- les « **émissions de GES par unité de produit** ».

Les gains de surface permettent ensuite d'évaluer les réductions réelles des émissions de GES des systèmes intégrés, par unité de produit ou mieux encore, quand cela est possible, par unité de service. Pour la nutrition il faut approximativement 3500 kcal par jour, mais ces dernières peuvent être fournies en partie sous forme animale, suivant des proportions variables. Les gains réels dans le chauffage (d'une maison type de 100m<sup>2</sup>), dépendent en effet non seulement de l'isolation, c'est-à-dire de la demande en chaleur, mais aussi des rendements de conversions des appareils à bois et de l'efficacité des productions de bois par hectare.

De même dans le transport il faut considérer les besoins en surface pour parcourir par exemple 10.000 km par an en voiture, les émissions et les émissions de GES évitées en utilisant les biocarburants à la place des combustibles fossiles et les surfaces nécessaires à ce type de production. Les émissions de GES évitées dépendront du carburant remplacé, des espèces cultivées, des conversions (nécessitant des rayons d'approvisionnement en phytomasses plus ou moins important) et des rendements de conversion par les moteurs (moteurs à explosion plus ou moins performants, pile à combustible, poids des voitures etc.). Faute de place nous ne détaillons pas davantage ces questions. Le lecteur pourra trouver des indications complémentaires dans le chapitre 1 du « Guide Biomasses Energie » édité par l'IEPF (parution en Janvier 2006)

**Tableau 3 Critères pour juger des progrès dans l' « efficacité de l'utilisation des terres »<sup>29</sup>**

<b>1</b>	<b>Production par hectare au moment i et au moment j</b>
<b>2.1</b>	<b>Efficacité dans l'utilisation des terres (en hectares), aux moment i et j* pour la production d'une tonne de produit,</b>
<b>2.2</b>	<b>Gains (ou pertes) d'efficacité dans l'utilisation des terres pour l'obtention d'une tonne de produit entre les moments i et j</b>
<b>2.3</b>	<b>Gains d'efficacité, en ha, au moment j dans la production par hectare de l'année j par rapport à l'année i</b>
<b>2.4</b>	<b>Évolution des besoins en surface entre i et j</b> <b>(a) Surface pour obtenir la production de l'année i, avec l'efficacité de l'année j</b> <b>(b) Surface qui serait nécessaire pour obtenir les productions de l'année j avec l'efficacité de l'année i</b> <b>(c) Gain d'efficacité dans l'utilisation des terres (surface nécessaire dans l'année j pour assurer la production de l'année j avec l'efficacité de l'année j) – surface nécessaire pour assurer la production de l'année j avec l'efficacité de l'année i)</b>
<b>2.5</b>	<b>Études prospectives ; possibilités de réductions supplémentaires des surfaces nécessaires pour la production d'une tonne de produit</b>
<b>2.6</b>	<b>Études prospectives ; possibilités de réductions supplémentaires des surfaces nécessaires pour satisfaire les besoins alimentaires et non alimentaires par personne</b>

\*évolution par exemple au cours d'une décennie

**Tableau 4 : Critères pour évaluer les progrès dans la réduction des émissions de GES par unité de produit**

<b>3.1</b>	<b>Emissions de GES par hectare provenant des intrants</b>
<b>3.2</b>	<b>Augmentation des émissions de GES par ha entre les moments i et j</b>
<b>3.3</b>	<b>Variation des émissions nettes de GES, par unité de produit (alimentaire et non alimentaire), entre les moments i et j .</b>
<b>3.4</b>	<b>Emissions par tonne de produit en i et en j</b>
<b>3.5</b>	<b>Variation des émissions de GES par tonne de produit, entre i et j</b>
<b>3.6</b>	<b>Surface pour compenser les augmentations d'émissions de GES par tonne de produit entre i et j, avec une productivité des terres en phytomasses pour l'énergie de x t de matière sèche/ha/an (et éventuellement une augmentation annuelle des stocks de carbone dans le cas des forêts)</b>
<b>3.7</b>	<b>Études prospectives ; réductions supplémentaires d'émissions de GES avec une approche intégrée<sup>30</sup></b>
<b>3.8</b>	<b>Études prospectives ; potentiel global de réductions supplémentaires des émissions nettes de GES par habitant, dans un pays donné*</b>

<sup>29</sup> En tenant bien sûr compte de la surface nécessaire pour assurer la traction animale

<sup>30</sup> En tenant compte des émissions importées, avec par exemple dans un premier temps des facteurs d'émissions par défaut par unité de produit importé et exporté

## 8 L'EVOLUTION DES EMISSIONS DE L'AGRICULTURE FRANÇAISE ENTRE LE STADE PREINDUSTRIEL(1850) ET LE STADE INDUSTRIEL (1990):

Pour illustrer l'approche comprenant examinons maintenant un cas concret. Les principaux résultats relatifs aux évolutions dans le domaine de la production de céréales en France sont indiqués dans le tableau 5 qui suit

**Tableau 5 Ordres de grandeur des indicateurs pour juger de l'évolution, en France, des performances de la production de céréales entre le stade préindustriel (1850) et le stade industriel actuel (1990).**

<b>(1) PRODUCTIONS DE GRAINS</b>		
	<b>(1850)</b>	<b>(1990)</b>
<b>(1) Rendement en grain par hectare</b>	<b>1 tonne</b>	<b>6 tonnes</b>
<b>(2) EFFICACITE DANS L'UTILISATION DES TERRES</b>		
<b>(2.1) Surface nécessaire par tonne de céréale</b>	<b>1,166<sup>31</sup></b>	<b>0,166</b>
<b>(2.2) Gain en surface entre 1850 et 1990 pour produire une tonne de céréale</b>		<b>1 ha</b>
<b>(2.3) Gains en ha en 1990, par rapport à 1850, pour produire 6 tonnes de céréales (gains en surface pour la production de céréales et au niveau de la traction animale)</b>		<b>Gain par rapport à 1850 5,83 ha 5 ha pour la culture 0,83ha avec la motorisation (5x 0,166)</b>
<b>(2.4)Évolution des besoins en surface entre 1850 et 1990, (a) Surface pour obtenir la production de 1850 (14,9 millions de tonnes), avec l'efficacité de 1990 (b) Surface qui serait nécessaire pour obtenir les productions de 1990 (60 millions de tonnes) avec l'efficacité de 1850 (c) Gain en surface dans la production de l'année j par rapport à la même production dans l'année i</b>	<b>2,5 Mha soit un gain de 14,9 Mha<sup>32</sup></b>	<b>+ 70 Mha<sup>33</sup>  60 Mha</b>
<b>(3) EMISSIONS DE GES</b>		
<b>(3.1) Emissions totales de GES, par ha, provenant des intrants</b>	<b>0,137 teqCO<sub>2</sub><sup>34</sup></b>	<b>3,38 teqCO<sub>2</sub><sup>35</sup></b>
<b>(3.2) Augmentation des émissions de GES par ha résultant du gain de production par ha, entre 1850 et 1990, (+ 5t de céréales /ha)</b>		<b>3,243 teqCO<sub>2</sub></b>
<b>(3.3) Augmentation des émissions par tonne de céréales entre 1850 et 1990</b>		<b>0,426 teqCO<sub>2</sub></b>
<b>(3.4) Emissions par tonne de céréale</b>	<b>0,137<sup>36</sup></b>	<b>0,56</b>
<b>(3.5) Augmentation des émissions de GES, entre 1850 et 1990, par tonne de céréale</b>		<b>0,426</b>
<b>(3.6) Surface pour compenser les augmentations d'émissions de GES par tonne de céréale entre 1850 et 1990, avec une productivité des terres en biomasses pour l'énergie de 4 t de matière sèche/ha/an</b>		<b>0,1ha</b>

<sup>31</sup> Pour simplifier le calcul nous avons supposé qu'il fallait 0,166 ha de terres pour l'élevage des animaux de trait assurant le travail à la ferme, ce qui est sans doute légèrement sous évalué.

<sup>32</sup> En admettant qu'il fallait 1,166 ha pour produire 1 tonne de céréales (dont 0,166 pour la nourriture des animaux des traits) soit 17,37 Mha pour produire 14,9 millions de tonnes de grain

<sup>33</sup> En tenant compte de la surface pour nourrir les animaux de trait

<sup>34</sup> Provenance des émissions ; -consommations d'énergie fossile; traction animale 0,166 ha/ha ( les émissions de CH<sub>4</sub> des fermentations entériques et des déjections animales des animaux de trait ne sont pas comptabilisés) ; émissions de N<sub>2</sub>O provenant du fumier mis sur les céréales 0,137 teq CO<sub>2</sub> (pour 15 kg de N)

<sup>35</sup> Provenance des émissions ; CO<sub>2</sub> de la consommations d'énergie ; 0,4tep (1,29 teq CO<sub>2</sub>) dont engrais et phytocides 71% motorisation 29% etc. ; N<sub>2</sub>O des apports d'azote ; 2,09teq CO<sub>2</sub> pour un apport de 80 kg N

<sup>36</sup> Hors émissions de méthane par les animaux de trait.

On montre que sans l'augmentation de l'efficacité dans l'utilisation des terres, avec des rendements de 1850 et pour produire autant de céréales qu'en 1990, (60 millions de tonnes de grains) il faudrait aujourd'hui 70 millions d'hectares, dont environ 10 millions d'hectares pour la traction animale, alors que la surface de la France métropolitaine n'est que de 55 Mha (Riedacker 2004a et 2002) ! Sans les progrès techniques il aurait fallu supprimer toutes les autres cultures, les prairies et les forêts. Ce qui aurait eu pour conséquences d'augmenter les émissions de gaz carbonique par suite de l'élimination des biomasses des arbres et du carbone des sols des forêts et des prairies.

Certes les émissions de GES par tonne de céréales produites sont légèrement plus élevées qu'en 1850. Mais sur les surfaces économisées on peut d'une part produire des biomasses non alimentaires pour remplacer des produits fossiles et réduire ainsi les consommations de produits fossiles (du bois, des biocarburant etc.) et d'autre part stocker du carbone dans les biomasses et dans les sols ; grâce notamment à cette intensification la surface des forêts française a pu doubler entre 1850 et 1990.

Certes les émissions de GES ont augmenté de 0,426 teq CO<sub>2</sub> par tonne de céréales. Mais par tonne de matière sèche de bois produit on peut par exemple réduire les émissions de GES de 1,127 teqCO<sub>2</sub><sup>37</sup> Avec une production annuelle de 4 tonnes de matière sèche par hectare et par an il suffirait donc de 0,1 hectare. Pour compenser les émissions supplémentaires des 6 tonnes de céréales produites il suffirait donc de 0,6 ha alors que le gain en surface pour produire ces 6 tonnes est de 5 ha ! En implantant des forêts sur ces surfaces on augmenterait en outre, en moyenne, les stocks de carbone de 50 t par ha en cent ans (183 t de CO<sub>2</sub>/ha ou 1,83 t de CO<sub>2</sub>/ha/an durant cent ans). La production forestière annuelle durant les cent premières années, en tonnes de matière sèche par ha, pourrait donc être encore plus faible.

A cela on peut rajouter que pour obtenir 3500 kcal dans la bouche du consommateur il faut aujourd'hui, avec respectivement 1400Kcal et 700Kcal animales provenant de la viande de bœuf (le restant provenant directement de calories végétales), produire respectivement en tout 11900 Kcal végétales et 7700Kcal végétales soit 3.4 et 2.2 kg d'équivalents céréales par jour<sup>38</sup>. Il aurait fallu produire respectivement 1,24 t et 0,8 t de céréales par an. Il aurait donc fallu pour se nourrir respectivement 1,38 ha et 0,93 ha avec les rendements par hectare de 1850, contre seulement 0,21 et 0,13 ha avec les rendements de 1990.

En 1850 l'agriculture préindustrielle était en outre loin d'être durable : Les exportations de matières minérales étaient alors nettement supérieures aux retours de ces matières au champs. Seulement la moitié des exportations minérales était compensée par la fertilisation (Boulaine 1992), comme encore aujourd'hui dans la majorité des parcelles agricoles de l'Afrique subsaharienne (FAO, Riedacker et Dessus 1991).

On peut donc en conclure qu'il faut aider l'Afrique sub-saharienne à augmenter la fertilité de ses champs pour ne pas trop augmenter ses émissions de gaz à effet de serre en provenance de l'espace rural, pour moins appauvrir ses sols agricoles, pour moins déboiser et pour se rendre plus autonome sur le plan alimentaire. Ce qui est une tâche difficile, mais devant devenir une priorité, y compris dans la lutte contre le changement climatique.

Il faut également aider les pays africains à mieux valoriser les déchets agricoles riches en matières minérales et les herbes de savanes brûlant chaque année. Ceci grâce à de nouvelles technologies permettant de bien valoriser les produits phytomasses à fortes teneurs en cendres (Riedacker 2005).

Dans d'autres parties du monde la situation est évidemment différente. En Inde et en Chine on utilise déjà trop souvent les engrais de manière excessive et polluante. Il faut donc veiller à revenir à une agriculture plus durable, doublement verte. Et il faut s'occuper par ailleurs de la réduction des émissions de gaz carbonique provenant du charbon, c'est-à-dire au passage au charbon propre (à meilleurs rendements par tonne de charbon, avec des injections de CO<sub>2</sub> des centrales thermiques etc. )

L'approche intégrée présentée ici doit permettre d'identifier et de hiérarchiser, dans chaque pays et dans chaque région, les politiques à mettre en oeuvre dans les gestions des territoires ruraux et dans les conversions des biomasses en vue de diminuer les émissions mondiales de gaz à effet de serre.

---

<sup>37</sup> En admettant que 1 t de matière sèche de bois (quand elle contient 20% d'humidité) peut fournir 0,33 tep d'énergie primaire soit avec un rendement de conversion de 0,7 environ 0,231 tep de chaleur. Avec une chaudière à fioul ayant un rendement de 0,8 il faut 0,289 tep de fioul pour produire la même quantité de chaleur, ce qui conduit à émettre 1,125 t de CO<sub>2</sub> (1tep d'énergie primaire sous forme de fuel livrée émettant 3,9 t de CO<sub>2</sub>.) Lorsqu'on ne considère que les émissions de la combustion en chaudière, sans prendre en compte le raffinage et le transport, celles-ci s'élèvent à 3,2 tonnes de CO<sub>2</sub> par tep (cf « Guide Biomasse Energie » 2006)

<sup>38</sup> Un kg de céréales valant approximativement 3500 Kcal végétales

## Bibliographie

- ADEME – Ecobilan - DIREM (2002) Bilan énergétiques et gaz à effet de serre des filières de productions de biocarburant Rapport technique 132 pages
- Arrouays D., J. Balesdent, J.C. Germon, P.A. Jayet, J.F. Soussana, P. Stengel. (2002). Stocker du carbone dans les sols agricoles de France Expertise collective. Synthèse du rapport d'expertise réalisé par l'INRA. Octobre 2002 Résumé 31 pages INRA Paris (Rapport de base. 332 pages)
- Boulaine J. (1992) Histoire de l'Agronomie en France 392 page TECet Doc Lavoisier Paris
- CITEPA .(2005). Emissions de l'air en France métropole. Substances impliquées dans l'effet de serre 24 pages. [www.citepa.org](http://www.citepa.org)
- Barbier C (2001) Les déterminants de la demande énergétique et développement Etudes N° 3 Commissariat Général au Plan « Club Energie et Prospective » Tome 1 « Penser l'avenir pour agir aujourd'hui » Juin 2001 pp 147-223
- Dameron V, C. Barbier, A. Riedacker (2005) Les enjeux mondiaux du stockage de CO2 par des plantations forestières sur des terres agricoles et de la réduction des consommations d'énergies fossiles par l'utilisation de leurs biomasses Cahier du CLIP N°17 Septembre 2005 [www.iddri.org](http://www.iddri.org)
- Machado I. MR Leal J. E da Silva (2004 ) An assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil Government of the State of san Paulo Secretariat of the Environment 37 pp
- Hodgiewicz M., A Faaij, R. van den Broeck, G. Berndes, D Gielen, W. Turkenberg (2004) Exploration of the range of the global potential of biomass for energy biomass and bioenergy 25 (2003) 119-133
- IPCC (2000) - Land use, land use change and forestry. Edited by R.T Watson, I. R. Noble, B. Bolin N.H. Ravindranath, D.J Verardo, D.J.Dokken. A special report of IPCC 377 pages Cambridge University Press
- IPCC (2000) Rapport Spécial du GIEC Scénario d'émissions Résumé à l'intention des décideurs 20 pages WMO and UNEP et rapport complet
- IPCC (2004) National Greenhouse Gas Inventories Programme November 2004 Revised 1996 IPCC Guidelines – Good Practice Guidance 2000 – Good practice Guidance for LULUCF 2003 – Report on degradation and devegetation. EFDB CD ROM Version 1.1 November 2004 [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- ISO (1997 to 2000) . ISO 14040 (1997) Environmental management Life cycle assessment Principles and framework,12 pages - ISO 14041 (1998) Environmental management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory 22 pages - ISO 14042 (2000) Environmental management, Life cycle assessment, Life cycle impact assessment 17 pages
- Malassis L. (1994) Nourrir les hommes 126 pages Flammarion Paris
- PNLCC (2000) Programme National de Lutte contre le Changement Climatique 2000-2010- 215 pages. Premier Ministre. Mission Interministérielle de l'Effet de Serre <http://www.effet-de-serre.gouv.fr>
- Plan Climat (2004) 88 pages <http://www.effet-de-serre.gouv.fr>
- Riedacker A., B. Dessus (1991) Increasing productivity of agricultural land and forests plantations to slow down the increase of the greenhouse effect Biomass for energy industry and environment 6<sup>th</sup> EC Conference Athènes Edited by G. Grassi Londre Elsevier : 228-232
- Riedacker (1999) Les stocks et les flux de gaz à effet de serre dans le domaine de l'agriculture des forêts et des produits dérivés, en France et dans quelques autres pays industrialisés. Colloque Agrigres CR Acad. Agric. Fr. 1999 , n°6 pp33-60 Séance du 18 Mai 1999
- Riedacker (2002a) Energie et puits de carbone Revue IEPF Liaison Energie Francophone N°54 33-40
- Riedacker (2002b) Les forêts et le Protocole de Kyoto : les réduction des émissions de gaz à effet de serre : le résultat des accords de Bonn et Marrakech en 2001. La Forêt Privée N° 266 30-37
- Riedacker A (2003) Effet de serre et politique de lutte contre le changement. Revue “Monde en développement” vol. 31 -2003 n°121 47-70
- Riedacker A.(2004a). An integrated spatial and temporal approach for biomass, land use, land use change to evaluate long term benefits in combating climate change pp 2397- 2400 . Proc. 2nd. World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 204 Rome Italy
- Riedacker A. (2004b) Changements climatiques et forêts, 231 pages, Edit2 PAR SILVA « Arbres Forêts et Sociétés » Paris
- Riedacker (2005) Opportunities and challenges for modern biomass use in developing Countries. Invited paper 14<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition: Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Paris 17-21 October 2005, 4p
- Riedacker A., V. Dameron, C. Barbier (2005). An integrated approach to stabilize greenhouse concentration in the atmosphere: the impact of afforestation of agricultural land becoming available in the world. 14<sup>th</sup>



- European Biomass Conference and Exhibition: Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Paris 17-21 October 2005, 4p
- Riedacker A. (2006) Chapitre 1.(42 pages) Les biomasses dans le contexte du changement climatique et du développement durable in Guide Biomasse Energie (à paraître en janvier 2006)
- RIVM (2001) Image team. The Image 2.2 implementation of the SRES scenarios. A comprehensive analysis of emissions, climate change and impacts in the 21<sup>st</sup> century RIVM Cd Rom publication.