

After 2050

**Un scénario
soutenable
pour l'agriculture
et l'utilisation des
terres en France
à l'horizon 2050**

Sommaire

Pages

4	Préface
5	Avant-propos
	Démarche, principes
8	Les étapes du projet
8	- Genèse
8	- Mise en discussion
8	- Seconde étape : déclinaison régionale et approche socio-économique
9	- Troisième étape : propositions d'actions
9	Principes et valeurs
9	- Raisonner la consommation
10	- Mobiliser des pratiques et techniques maîtrisées
10	- Privilégier des voies sans regret
10	- Développer une approche holistique
10	- Imaginer un projet ambitieux
	Les enjeux d'Afterres2050
12	- Mieux nourrir une population croissante
12	- Nourrir le monde
13	- Produire du carbone renouvelable pour l'énergie et les matériaux
14	- Lutter contre l'artificialisation des terres agricoles
15	- Reconquérir la qualité de nos ressources en eau
15	- Préserver la biodiversité et restaurer les écosystèmes
16	- Faire du maintien de la fertilité des sols le pivot de la durabilité des systèmes agricoles
17	- Prendre en compte l'ensemble de la chaîne alimentaire dans la lutte contre le changement climatique
18	- Adapter les agrosystèmes et la forêt aux changements climatiques
18	- Faire vivre une agriculture et des territoires ruraux dynamiques
	La construction du scénario Afterres2050 le modèle MoSUT
20	- Etape 1 : Alimentation humaine
20	- Etape 2 : Bilan d'approvisionnement par denrée agricole
21	- Etape 3 : Systèmes de cultures
24	- Etape 4 : Systèmes d'élevage
25	- Etape 5 : Calcul des surfaces agricoles
25	- Etape 6 : L'utilisation des sols
25	- Etape 7 : L'impact climatique et environnemental
26	Gaz à effet de serre et stock de carbone
26	Bilan d'azote
26	Indicateurs environnementaux
28	- Etape 8 : Usages non alimentaires de la biomasse
	Hypothèses et résultats
28	L'alimentation humaine
28	- Manger mieux et un peu moins
28	- Gaspiller moins, recycler plus

Pages

- 29 - Trouver un nouvel équilibre entre protéines animales et végétales
- 30 - Réduire le calcium apporté par les produits laitiers
- 30 - L'assiette Afterres2050
- 31 - Une évolution alimentaire, sans rupture
- 31 **Importations, exportations**
- 31 - Afterres2050 et les scénarios mondiaux
- 32 - Les hypothèses adoptées dans Afterres2050
- 33 **Les cultures**
- 33 - Quels systèmes agricoles dans Afterres2050 ?
- 33 - Mixité des productions et allongement des rotations
- 34 - Introduction massive de légumineuses et maîtrise de la fertilisation
- 34 - Approche holistique des agrosystèmes : potentialiser les facteurs de production biologique et la fertilité des sols
- 35 - A quoi ressemble une parcelle compatible Afterres2050 ?
- 35 - La scénarisation des rendements
- 36 **Les élevages**
- 36 - Intensif, extensif ? Monogastriques, ruminants ? Herbe ou grains ?
- 37 - Porcs et volailles
- 38 - Ruminants
- 40 - Ovins, caprins
- 42 **Utilisation des terres**
- 42 - Les productions végétales agricoles
- 43 - Les surfaces agricoles
- 43 - De nouveaux systèmes agropastoraux
- 44 - De nouvelles affectations à imaginer
- 44 - Les surfaces non agricoles
- 46 **La forêt**
- 46 - La forêt française en quelques chiffres
- 47 - Les prélèvements actuels
- 47 - Les prélèvements futurs, avec une sylviculture productive et écologique
- 48 **Energie et valorisations non alimentaires de la biomasse**
- 48 - Produire des bioénergies avec la biomasse agricole et forestière
- 49 - Le biogaz
- 50 - Le bois
- 52 **Evaluation environnementale**
- 52 - Les intrants
- 54 - Les émissions de gaz à effet de serre
- 54 - La qualité de l'air
- 55 - Des agrosystèmes plus résistants au changement climatique
- Synthèse**
- 58 - Synthèse des principaux résultats
- 58 - Du scénario au modèle Afterres2050 : la transition
- 60 - Suites et perspectives

Préface

Pourquoi modéliser le système agricole et alimentaire français en 2050 ? Pour qui ces « modèles » ? Encore un « machin » d'ingénieurs ?

Parfois, la meilleure manière de répondre à une question est d'en poser une autre. Pouvons-nous résoudre les questions d'alimentation et de gestion des territoires en manipulant une seule unité, la monnaie et avec un seul outil, le marché ? Si vous répondez oui à ces deux questions, ne lisez pas le scénario Afterres2050.

Mais si vous pensez que la beauté, la biodiversité, la solidarité, un arbre, une vache, 3000 ans d'histoire ne se résument pas à leur valeur en dollars, en euros, ... alors vous comprendrez tout l'intérêt d'Afterres2050.

Non pas qu'Afterres2050 ait trouvé un indicateur d'intensité des sentiments, ni même une unité « biodiversité » permettant de rendre commensurables les êtres vivants. L'ambition d'Afterres2050 est plus raisonnable.

Elle s'inscrit dans un double mouvement :

D'une part, la recherche d'indicateurs alternatifs aux indicateurs monétaires qui faussent notre vision du monde, comme par exemple l'indice de développement humain (IDH) en lieu et place du PIB. Même s'il existe authentiquement des économistes fous qui croient que la monnaie peut rendre compte de tout, et qu'en fixant un prix à toute chose (ou en le laissant fixer par le marché) on a résolu le problème de compréhension et de gestion du monde, beaucoup reconnaissent qu'évaluer l'état d'un pays ou d'un écosystème en dollars n'a pas de sens.

D'autre part, une prise de conscience de l'existence d'interactions dynamiques au sein des systèmes, et de la nécessité d'appréhender la complexité en la modélisant.

C'est en se penchant sur toutes ces interactions que l'on peut comprendre les évolutions à venir, et donc prévenir celles qui ne sont pas souhaitables.

C'est la démarche du GIEC, groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat, qui modélise l'évolution du climat de la terre en lien avec l'activité humaine.

Face à la crise sociale et environnementale planétaire, la recherche de nouveaux indicateurs et la modélisation des systèmes sont devenus des outils indispensables pour la définition des politiques publiques.

On peut même dire que, dans certains cas, indicateurs et modélisation sont au cœur des négociations, puisqu'ils représentent un effort collectif pour rendre compte de la réalité du monde que nous devons gérer ensemble.

C'est un moyen aussi de dépasser les grandes déclarations d'intention qui ne mangent pas de pain - qui peut-être contre le développement durable ? - pour mettre le doigt sur les éléments concrets du réel.

Le scénario Afterres2050 comble, de ce point de vue, un vide béant. Cela fait plus de vingt ans maintenant que l'on parle d'agriculture durable en confrontant des expériences locales – une ferme – et des enjeux globaux – le marché mondial des céréales ou du pétrole – mais sans jamais se représenter l'échelon intermédiaire et essentiel en terme de politiques publiques : le territoire, qu'il soit régional, national ou européen. On parlait donc beaucoup mais sans jamais préciser de quoi. On faisait des politiques sur des intuitions et des intérêts mais pas sur une représentation de l'objet réel à gérer. Afterres2050 est bien sûr inexact et incomplet comme le sont TOUS les modèles. D'un modèle, on attend d'ailleurs qu'il soit fécond plutôt que vrai. Mais Afterres2050 est pour l'instant le seul modèle en son genre. Il peut se décliner selon les échelles de territoire. Alors qu'on s'y intéresse et, si l'on trouve à y redire, qu'on le dise et... qu'on fasse mieux !

Matthieu Calame,
Directeur de la Fondation
Charles Léopold Mayer
pour le Progrès de l'Homme

Avant-propos

Le scénario Afterres2050 est le fruit de deux années de travail de Solagro, de ses salariés et de ses membres.

Si chacun est remercié ici de sa participation et de ses contributions, il convient de distinguer et saluer l'important travail des scénaristes et rédacteurs :

- Christian Couturier,
- Sylvain Doublet,
- Elen Devauchelle,
- Madeleine Charru,
- Philippe Pointereau.

Monique Fauré, Paul Neau et Isabelle Meiffren sont remerciés pour leur relecture attentive de ce document.

Nous tenons à remercier aussi tous ceux - agriculteurs, associations, chercheurs - qui pionniers dans leur domaine ouvrent la voie depuis des années. Leurs actions et travaux ont motivé, nourrit et encouragé notre réflexion.

Afterres est le diminutif de « alimentation-agriculture-forêt-terres » avec un clin d'œil au terme anglais « after ».

Ce document est le premier et seul document « officiel » de synthèse établi par l'association pour expliquer le pourquoi et les objectifs de ce scénario, l'architecture du modèle, les hypothèses et les résultats.

Il a pour but de faire connaître la démarche et d'ouvrir les débats indispensables à la mise en œuvre des nécessaires transitions.

Afterres2050

Démarche, principes

Les étapes du projet

Genèse

Nourrir les hommes et les cheptels, produire de l'énergie, fournir des matériaux de construction, construire de nouveaux logements, créer des voies de communication, des parkings ou encore des réservoirs de biodiversité : l'espace agricole et forestier est une richesse convoitée et qui le sera de plus en plus.

En 2050, nous serons dans l'Hexagone 8 millions de personnes de plus qu'en 2010, la demande de produits agricoles pour l'alimentation, l'énergie, les matériaux, la chimie verte sera plus forte encore.

Disposerons-nous des surfaces nécessaires pour satisfaire, dans des conditions durables, ces besoins vitaux alors que l'artificialisation des sols réduit tous les ans de 60 000 à 70 000 hectares notre surface cultivable ?

Pour répondre à cette question essentielle, posée fin 2009 à l'occasion d'un séminaire de travail interne à Solagro rassemblant administrateurs et salariés, nous avons décidé de tout mettre sur la table, pour prendre en compte l'ensemble des interactions de ce complexe système agricole, forestier, alimentaire auquel nous voulions rajouter énergie et matériaux.

Ce scénario se doit d'être « désirable, crédible, et compréhensible » et c'est dans le cadre d'une démarche collective et collaborative que nous travaillerons. Les principes, les valeurs, les « points » que nous ne vou-

lons pas dépasser, ou les limites fixées par les scientifiques ont été déterminés en groupes de travail avec les adhérents, salariés et experts associés.

L'objectif est d'apporter des réponses concrètes et chiffrées à la question initiale pour ouvrir le débat sur des bases solides. Il faut donc quantifier les besoins, les usages, les flux, les capacités des différents systèmes de production compatibles avec les objectifs sociaux et environnementaux par ailleurs assignés. Afterres2050 est le premier scénario physique pour la France à croiser de si multiples données.

Les travaux ont démarré concrètement fin 2010. Afterres2050 est un scénario physique, chiffré puisqu'il s'agit de répondre à une question quantitative sur la capacité du territoire français à répondre à nos besoins en 2050. Nous avons choisi de nous en tenir aux frontières de la France métropolitaine pour des considérations d'accès aux données, de cohérence et de maîtrise de leur solidité, de notre capacité à les traiter. Les données « sources » utilisées sont robustes et proviennent de bases de données (nationales, internationales) reconnues. Les résultats permettent de présenter les premiers ordres de grandeur des « possibles » et de s'interroger sur les marges de manœuvre existantes.

Mise en discussion

Ce premier scénario a déjà été présenté à des publics nombreux et différents. Parmi les étapes les plus marquantes de ces présentations publiques, citons :

- la première présentation (Toulouse, mai 2011),
- la conférence de sortie du scénario négaWatt (Paris, septembre 2011),
- la première Université d'Hiver de Solagro (Brens, février 2012).

Quelque soixante dix présentations ont été effectuées depuis lors jusqu'à aujourd'hui (Juillet 2013) devant des agriculteurs, des citoyens, des étudiants, des experts,

des élus, avec des publics très souvent mélangés, mais parfois homogènes lorsque nous avons été invités par des organisations professionnelles, ou lors de séminaires réservés à certains fonctionnaires d'État.

Ces présentations ont été l'occasion de débats très riches, avec des questionnements récurrents, des controverses passionnées. Les réactions vont de l'enthousiasme au scepticisme absolu. Les postures caricaturales restent cependant rares. Dans tous les cas, notre scénario ne laisse pas indifférent et provoque un débat. Ce qui est bien notre objectif.

Seconde étape : déclinaison régionale et approche socio-économique

La seconde étape, engagée fin 2013, consiste, à décliner Afterres2050 dans plusieurs régions, afin de mieux prendre en compte la réalité des caractéristiques régionales, des capacités d'évolution des différents systèmes et de réfléchir avec les acteurs locaux sur les propositions les plus appropriées et les modalités d'engagement des transitions nécessaires. Cette régionalisation permettra aussi d'investir des thématiques nouvelles ou peu détaillées dans la version actuelle du scénario

national (arboriculture, maraîchage).

Nous aborderons également les questions socio-économiques. Au niveau macro-économique, la question du « coût » du scénario n'aurait de sens qu'en comparaison avec un autre scénario, par exemple un scénario « tendanciel », avec la difficulté de parvenir à modéliser l'ensemble des données qui permettraient d'y répondre, comme le cours mondial des denrées agricoles, la solvabilité de la demande intérieure et exté-

rieure, la compétitivité comparée des différentes agricultures mondiales, le prix du pétrole, d'ici 2050...

Nous chercherons plutôt à travailler sur la traduction de notre scénario en termes socio-économiques : combien d'emplois ? Quelles formes d'exploitations agri-

coles ? Quel degré de diversification ou spécialisation et à quelle échelle ?

Autant de questions qui devraient nous occuper pour les deux années à venir (2013-2014) et dont les réponses seront présentées en 2015.

Troisième étape : propositions d'actions

Pour le moment, nous cherchons à élaborer un scénario qui soit « désirable, crédible et compréhensible ». La question des moyens de sa mise en œuvre revient régulièrement dans les débats, ainsi que leur traduction politique. La question du « comment » sera abordée lorsque nous aurons clairement défini les objectifs.

Ce sera l'objet d'une troisième étape. D'autres questions sont également soulevées fréquemment. La nécessité de travailler à l'échelle européenne a été souli-

gnée. Si nous avons fait le choix, au contraire, de passer à une échelle plus proche du terrain pour la seconde étape, la question de l'échelon européen reste envisagée pour la troisième étape. A l'issue de l'exercice en cours, nous évaluerons également la possibilité d'intégrer de nouvelles régions, voire de régionaliser le scénario sur l'ensemble du territoire.

Principes et valeurs

La démarche et le scénario Afterres2050 s'appuient sur cinq principes fondamentaux qui sont autant de valeurs du développement durable :

- Raisonner la consommation ;
- Mobiliser des pratiques et techniques maîtrisées ;
- Imaginer un projet ambitieux ;
- Privilégier des voies « sans regret » ;
- Développer une approche holistique.

Raisonner la consommation

Dans bon nombre d'exercices prospectifs, la demande est considérée comme une donnée d'entrée et le système productif a pour objectif de la satisfaire. Le postulat sous-jacent est que « l'intendance suivra », c'est-à-dire que nous saurons trouver les ressources nécessaires et réparer les dégâts provoqués.

Nous considérons au contraire qu'il est légitime de questionner nos besoins au regard des conséquences qu'ils induisent sur la capacité de la biosphère à fournir ces ressources et à supporter ces dégâts. Nos consommations doivent donc être raisonnées, en appliquant les principes de sobriété et d'efficacité du système

dans sa globalité, « de la fourche à la fourchette ».

Les besoins alimentaires constituent le point d'entrée de notre travail de modélisation. Le principe de sobriété est un principe positif : il s'agit de consommer avec modération, économie, mais de manière épicurienne. Il s'oppose ainsi autant aux actes d'ébriété, gloutonnerie, immodération, gaspillage qu'à la mortification, ascèse ou austérité...

Le scénario Afterres2050 est articulé avec le scénario négaWatt élaboré en 2011 : fourniture de biomasse pour l'énergie et les matériaux, consommation d'énergie pour l'agriculture et l'agroalimentaire.

La démarche « négaWatt »

Le scénario négaWatt, scénario de transition énergétique centré sur une révision des besoins d'énergie, a popularisé les leviers d'une politique en rupture avec le dogme de la croissance continue des consommations : sobriété, efficacité énergétique, énergies renouvelables.

Il montre qu'il est possible pour la France de diviser par 2 nos consommations finales d'énergie, par 16 nos émissions de CO₂ d'origine énergétique, et de réduire radicalement notre dépendance aux énergies fossiles d'ici 2050 en mobilisant fortement les énergies renouvelables, tout en abandonnant progressivement l'énergie nucléaire sur deux décennies.

Pour en savoir plus : www.negawatt.org

Mobiliser des pratiques et techniques maîtrisées

Afterres2050 mise sur le déploiement d'une agriculture et d'une sylviculture polyvalentes, hautement techniques, déjà pratiquées avec succès par des agriculteurs pionniers. Plurielle et productive, cette agriculture se caractérise par une valorisation optimale de l'espace et la restauration des cycles biologiques.

Il ne s'agit ni d'un retour vers le passé, ni d'un pari sur des avancées scientifiques ou techniques révolution-

naires. Les systèmes adoptés dans Afterres2050 sont basés sur les connaissances apportées par la science et des innovations déjà mises en œuvre concrètement par les agriculteurs.

Le scénario Afterres2050 ne repose sur aucun pari technologique ni sociétal, il ne postule pas une révolution de nos modes de vie ou d'organisation.

Privilégier des voies sans regret

Les systèmes et pratiques retenus sont de nature à ne pas épuiser les sols, à minimiser les pollutions de l'air, des eaux et des sols en réduisant fortement l'usage des pesticides et des engrais azotés chimiques, à lutter contre la baisse inquiétante de nos populations d'insectes pollinisateurs et de nos ressources halieutiques, à réduire notre dépendance aux importations de pro-

duits alimentaires, de bois et d'intrants dans un souci de préservation des ressources d'autres territoires du monde.

Dans la mesure du possible, on privilégie systématiquement les solutions qui offrent des « dividendes multiples », c'est-à-dire dont les effets secondaires sont positifs sur d'autres plans.

Développer une approche holistique

La démarche Afterres2050 s'insère dans une tendance à la défragmentation des problématiques :

- les différentes thématiques : la production agricole, l'alimentation, la consommation, l'environnement...,
- les échelles dans l'espace et le temps : la ferme, la région, la France, le monde, hier, aujourd'hui, à court et à long terme,
- et les disciplines : agronomie, socio-économie, écologie, ne sont pas réduites à des objets d'analyse indépendants

mais intégrées dans un système global et complexe. Tous ces champs n'ont pas été explorés, du fait de l'importance de la tâche, mais aucun n'est ignoré.

Le choix des solutions « à dividendes multiples » ne permet cependant pas de résoudre tous les dilemmes identifiés par la démarche systémique. L'évaluation globale, multicritères, est un moyen d'analyse, les choix des hypothèses reflètent in fine un projet de société qui doit être partagé.

Imaginer un projet ambitieux

Nécessairement, la prospective bouscule les idées reçues, remet en cause les systèmes et pratiques actuels, propose des ruptures.

En 2050, le métier d'agriculteur sera certainement différent d'aujourd'hui, comme il est très éloigné de ce qu'il était dans les années 1950 ou 1960.

Les enjeux auxquels nous sommes confrontés et auxquels cherche à répondre Afterres2050 sont considérables, et une telle prospective ne peut se contenter de viser des évolutions plus ou moins tendanciennes qui

ne remettraient pas en cause des systèmes socio-techniques établis et verrouillés.

Afterres2050 ose aller explorer des voies nouvelles, sans provocation ni caricature, hors des idées reçues ou des schémas tout faits. Son mode d'élaboration participatif, séquencé par des présentations publiques, a pour objectif de permettre la confrontation des points de vue, de s'écouter et s'entendre, d'imaginer ensemble un futur qui puisse être « désirable » pour tous.

Les enjeux d'Afterres2050

Afterres2050 a été construit pour répondre aux défis majeurs des décennies à venir qui motivent, de longue date, l'action de Solagro.

Enjeux de production et de consommation alimentaire, enjeux liés aux crises climatiques et enjeux de préservation de notre patrimoine naturel.

Mieux nourrir une population croissante

L'agriculture française devra, en 2050, nourrir 72 millions d'habitants¹, soit 12 % de plus qu'en 2010.

Que faut-il donc manger ? En quelle quantité ? La réponse n'est ni simple ni univoque.

Mais on peut s'accorder sur quelques constats qui pointent des enjeux majeurs de santé publique :

- L'alimentation d'aujourd'hui, riche en graisses et en aliments à forte densité énergétique, centrée autour d'aliments d'origine animale, a remplacé notre alimentation traditionnelle. Cette modification a joué un rôle clé dans l'augmentation de la prévalence des maladies chroniques d'origine nutritionnelle considérées comme évitables : obésité, diabète, maladies cardio-vasculaires, cancers et ostéoporose principalement (d'après un rapport commun à l'OMS et à la FAO publié en 2002²).
- Aux méfaits de la « malbouffe » et d'une alimentation

trop riche, s'ajoutent d'autres facteurs liés à nos modes de production agricole. Plusieurs études³ établissent un lien entre certaines molécules de synthèse (pesticides, mais aussi plastiques, métaux) et la prévalence de l'obésité et du diabète. Ces substances chimiques viendraient interférer avec nos hormones naturelles et perturber notre système endocrinien.

- On notera enfin que le taux d'obésité en France, s'il reste parmi les plus bas des pays de l'OCDE, progresse de façon régulière et touche, en 2009, 14,5 % des français, contre 8,5 % en 1997. Un des phénomènes les plus inquiétants est l'obésité infantile qui aurait augmenté de 300 % en dix ans⁴ !

En outre, on estime que le tiers des aliments destinés à l'alimentation humaine est perdu ou gaspillé, entre le champ et l'assiette.

Nourrir le monde

Toujours considérée comme un des greniers à blé du monde du fait de nos exportations de céréales, et munie d'une balance agroalimentaire excédentaire (qui doit beaucoup au Champagne, Cognac et aux eaux minérales), la France est largement perçue comme autosuffisante et même apte à nourrir une partie de la planète. Or, nous importons des quantités considérables de soja pour nourrir nos poulets, nos cochons et nos vaches laitières. Nous importons des fruits et légumes, sans compter le caoutchouc, le café, le coton ou le bois pour notre papier.

L'établissement d'une balance import-export en surface équivalente – et non plus en euros – des produits issus de la photosynthèse (y compris les produits forestiers) montre que la France était déficitaire de 1,5 million d'hectare⁵ en 2005. Elle est importatrice nette de produits issus de la biomasse, en terme de surface. Notre « empreinte⁶ » excède nos surfaces agricoles et forestières et c'est le reste du monde qui nous approvisionne et ce, malgré des terres fertiles et productives. La question des importations et des exportations est donc une question centrale. La « vocation » de l'agriculture française à « nourrir le monde » n'est pas une vision consensuelle. Les organi-

sations de solidarité internationale dénoncent depuis très longtemps le rôle néfaste des exportations subventionnées des pays riches vers les pays les plus pauvres, où elles viennent concurrencer les paysannes locales et les cultures vivrières. Les agricultures vivrières nourrissent aujourd'hui 80 % de la population mondiale et doivent être soutenues plutôt que fragilisées par nos exportations. La moitié des pauvres dans le monde sont des paysans. La question de l'équilibre alimentaire mondial est avant tout une question de pauvreté. La France doit bien évidemment prendre sa part dans la sécurité alimentaire mondiale, mais sans aveuglement.

Orienté vers la reconquête d'une certaine souveraineté alimentaire, Afterres2050 ne vise pas l'autarcie. Nous continuerons à importer les denrées que l'on ne peut pas produire sous nos climats et à exporter une partie de notre production – notamment de céréales – en Europe ainsi que vers les pays du bassin méditerranéen. Ces derniers auront en effet à supporter, en plus de leur propre croissance démographique, un climat de moins en moins propice à l'agriculture.

¹ Scénario INSEE, Scénario central de projection, publié fin 2010 - « Estimations de population et projection de population 2007-2060 »

² « Alimentation, nutrition et prévention des maladies chroniques », OMS (Organisation Mondiale de la Santé), FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture), 2002

³ Review of the science linking chemical exposures to the human risk of obesity and diabetes, revue CHEM trust obesity, and diabetes, Janvier 2012

Montgomery MP and coll : Incident diabetes and pesticides exposure among licensed pesticides applicators, Agriculture Health study 1993-2003 Am. J. of Epidemiology 2008 ; 167: 1235-46

⁴ Selon Laurent Chevallier, consultant nutritionniste, praticien attaché au CHU de Montpellier.

⁵ En 2005 d'après les données de la FAO, la France exportait pour l'équivalent de 7 millions d'ha (61% de céréales, 25% de viande, 8% de produits laitiers, 4% de sucre et 2% de vin et alcool) et importait l'équivalent de 8,5 millions d'ha (42% des produits du bois, 18% de soja et manioc, 17% de fruits, légumes et épices, 13% de café, cacao, thé et tabac, 6% de viande, 3% de caoutchouc, 1% de coton, laine, fleurs), sans compter 21.000 t de miel et 465.000 t de poissons importés.

⁶ Sans tenir compte des surfaces qui pourraient être allouées pour stocker et compenser nos émissions de gaz à effet de serre, ou pour produire de l'énergie en substitution de notre consommation d'énergie fossile.

Produire du carbone renouvelable pour l'énergie et les matériaux

Energie, chimie, pharmacie, cosmétiques, plastiques, peintures, huiles, pneumatiques, engrais, textiles, papier, bois, et bien sûr alimentation : il suffit de regarder autour de soi pour comprendre à quel point l'élément carbone est l'atome de l'économie. Le carbone organique renouvelable devra se substituer au carbone fossile.

En matière d'énergie, le scénario négaWatt montre que le système électrique peut se passer pratiquement de combustibles. Eolien, photovoltaïque, hydraulique, sont en capacité de prendre le relais de nos centrales thermiques pour l'essentiel.

Les scénarios Afterres2050 et négaWatt sont cohérents entre eux, à la fois pour l'estimation de nos besoins en énergie et autres matières carbonées (bois de construction, papier, fibres textiles, molécules pour la chimie et la pharmacie) et pour les capacités de production de biomasse renouvelable de nos agrosystèmes modélisés dans Afterres2050.

La biomasse représente environ 40 % de l'énergie consommée dans la « France négaWatt » de 2050 avec 410 TWh en énergie primaire, soit 35 millions de tonnes équivalent pétrole.

En revanche, nous aurons encore besoin de combustibles et carburants à base de carbone, pour les besoins de chaleur et de mobilité. Ils devront être satisfaits par la biomasse directement utilisée comme combustible ou transformée par méthanisation ou gazéification. Substituer des ressources renouvelables issues de la biomasse aux ressources fossiles ne pourra toutefois

pas se faire à un niveau de consommation identique. Le facteur limitant des ressources renouvelables n'est pas la quantité, puisque par définition elles ne sont pas limitées dans le temps, mais par le flux instantané. Une vraie stratégie de sobriété, d'efficacité de recyclage est indispensable dans tous les domaines.

Le scénario Afterres2050 vise à favoriser les synergies plutôt que les antagonismes, entre les « 6F » qui constituent les 6 pôles de « l'hexagone » de la biomasse :

- « Fumure », qui symbolise les besoins de carbone stable, d'humus et de matière organique fraîche pour des sols riches et vivants ;
- « Fibres », et d'une manière générale tous les usages matières de la biomasse ;
- « Fioul », pour la production d'énergie ;
- « Forêt », dans son sens étymologique d'espace soustrait à l'anthropisation, et qui représente les aménités écosystémiques, la protection de la nature et la préservation de la biodiversité ;
- « Fourrages », pour l'alimentation des animaux ;
- « Fourneaux », pour l'alimentation humaine (et pour la rime).

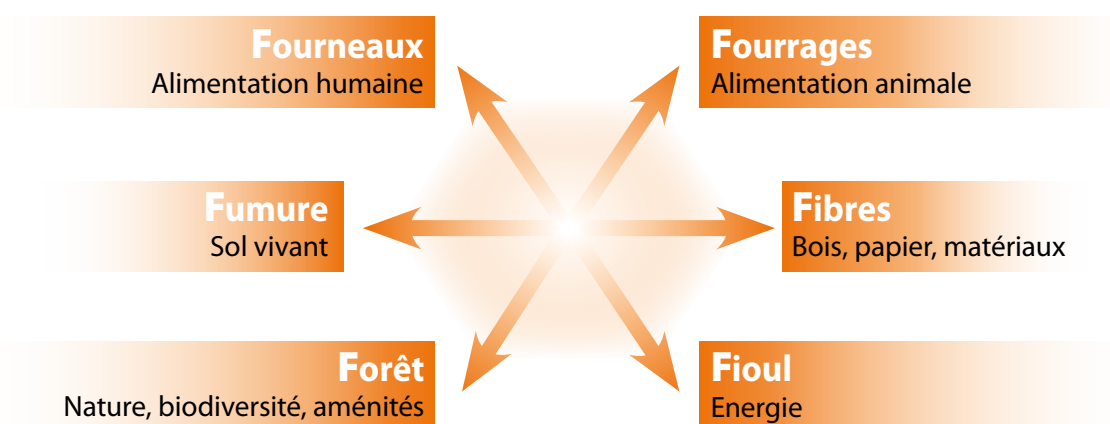


Figure 1 : Afterres2050 et les « 6 F »

Lutter contre l'artificialisation des terres agricoles

Actuellement, les politiques en matière d'urbanisme tentent de contenir l'artificialisation des sols dans les agglomérations, tandis que, dans les campagnes, le mitage des terres agricoles par les lotissements devient une préoccupation majeure. Même si nous avons toujours besoin de construire des infrastructures, bâtiments et équipements, il convient de ralentir cette artificialisation, 4 fois plus rapide que la croissance démographique. Les Schémas de COhérence Territoriale (SCOT) et les plans locaux d'urbanisme (PLU), qui en découlent, fixent désormais des objectifs chiffrés de densification et de lutte contre l'étalement urbain, la difficulté étant de ne pas créer des zonages qui reportent l'artificialisation dans les périphéries urbaines.

Cette consommation de terre agricole est imputable :

- à l'augmentation de la population,
- à la préférence donnée à la maison individuelle,
- au déplacement de la population sur le territoire (certains territoires étant en train de se vider),
- aux résidences secondaires et aux terres agricoles liées,
- à une augmentation de la demande en surface habitable par habitant, (dé-cohabitation, jardins, routes et parkings).

Depuis 1960, année où la surface agricole utile attei-

gnait 34,5 millions d'hectares, elle ne cesse de reculer pour ne couvrir que 29,1 millions d'hectare en 2010.

Ce recul résulte principalement de plusieurs phénomènes :

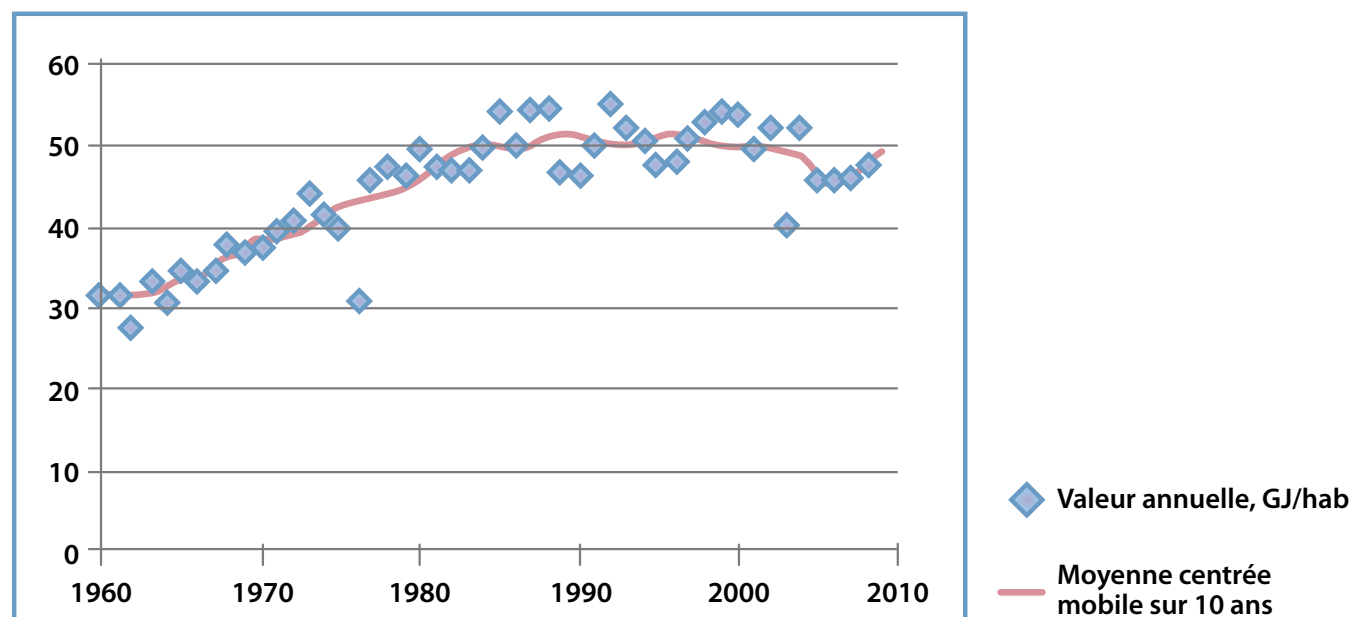
- une augmentation de la surface boisée (forêt, bosquet et peupleraie) de 4,3 millions d'hectare,
- une augmentation des sols artificialisés de 3 millions d'hectares,
- un recul des surfaces de friches et de landes de 4 millions d'hectares.

L'extension forestière⁷ correspond majoritairement à de l'extension naturelle par abandon de terres agricoles (avec passage temporaire par la catégorie « friches et landes »), laquelle a longtemps masqué l'importance de l'artificialisation des terres agricoles, un enjeu considéré comme majeur depuis peu.

La surface agricole par habitant a été divisée par deux en un siècle. Si la tendance se poursuit, chaque français qui dispose de l'équivalent de 46 ares pour se nourrir aujourd'hui, ne disposera plus que de 36 ares en 2050.

Ce recul des surfaces agricoles se couple depuis le début des années 2000 à une stagnation des rendements. Ainsi, le pic de production par habitant enregistré en 1992 ne sera certainement plus jamais dépassé.

Le graphe 1 résume la problématique actuelle : on voit que la production brute (végétale) de l'agriculture, après une forte croissance, plafonne⁸ depuis les années 2000, voire recule. Cette tendance croise trois facteurs : le recul de la SAU, la stagnation des rendements agricoles et l'augmentation de la population. La production agricole par habitant est donc amenée à baisser d'ici 2050.



⁷ A noter que la surface forestière métropolitaine a, pour la première fois depuis 150 ans, reculé en 2008.

⁸ On notera sur le graphe les deux années de sécheresse de 1976 et 2003 qui ont entraîné une baisse de production de 25%. Ces alertes anticipent les conséquences prévisibles du réchauffement climatique.

Reconquérir la qualité de nos ressources en eau

Atteindrons-nous en 2015, ou serons-nous « *en situation d'atteindre* » un bon état écologique et chimique des masses d'eau, conformément à la directive européenne cadre sur l'eau de 2000 ? Cet objectif, à la lumière des échecs enregistrés en France depuis la loi du 3 janvier 1992, aurait exigé la mise en place de politiques efficaces et contraignantes.

Car, le 3 janvier 1992, l'eau est devenue « patrimoine commun de la nation ». Depuis, l'état de nos ressources n'a cessé de se dégrader comme le confirme l'examen des données brutes sur l'état de nos ressources⁹ avant tout traitement de dépollution.

Pour exemples :

- 400 captages d'eau potable sont abandonnés chaque année en France (la solution consistant à mélanger des eaux de nappes polluées avec des nappes peu ou pas atteintes) ;
- Le plan gouvernemental contre les algues vertes lancé en 2010 en Bretagne a un coût estimé entre 2 000 et 4 000 € par hectare de SAU de bassin versant ;
- Selon le ministère de l'Écologie (CGDD), la pollution de l'eau par les pesticides et les nitrates coûte à minima 1,7 milliard d'euros par an pour distribuer une eau potable. S'il fallait éliminer les polluants agricoles

présents dans l'eau, le traitement coûterait au moins 54 milliards d'euros par an pour retrouver une eau « naturelle » (et pas simplement conforme aux normes de potabilité)¹⁰.

- La France a été condamnée en février 2012 par la Cour européenne de Justice pour son incapacité à lutter contre la pollution par les nitrates¹¹, d'origine principalement agricole.

Le surplus national azoté (azote apporté aux sols et non réexporté sous forme de grain ou de fourrage) est estimé à 900 000 tonnes (Solagro/Pöyry Environnement 2011). Il représente :

- 20 % de tous les apports en azote sous toutes ses formes (minérale, organique, liée à la fixation symbiotique ou issu de la déposition atmosphérique) ;
- 50 % des apports d'engrais azotés.
- Cette valeur « d'excédent » est en ordre de grandeur cohérente avec la quantité d'azote qui arrive annuellement dans les estuaires des grands fleuves métropolitains (près de 700 000 tonnes).

Concernant l'usage des pesticides, l'objectif est de le réduire de moitié d'ici 2018¹² (Ecophyto 2018) sachant que la directive européenne « 2009/128/CE dite pesticides » encourage la lutte intégrée.

Préserver la biodiversité et restaurer les écosystèmes

En 1992, lors du sommet de Rio, la France s'était engagée à stopper toute perte de biodiversité d'ici 2010. Non atteint, cet objectif a été reporté à 2020 avec un engagement supplémentaire de restaurer les services écosystémiques rendus par les milieux naturels.

La mise en place du réseau Natura 2000 (directives « Oiseau » de 1979 et « Habitat » de 1992) a été un pas important mais insuffisant pour la préservation de la biodiversité. Prévue par les lois Grenelle, la création d'une trame « verte » et d'une trame « bleue » destinées à recréer des continuités écologiques doit consolider ce dispositif. Lutte contre l'enfrichement, fauches retardées pour sauvegarder certaines espèces, préservation de parcours : un tiers des surfaces du réseau Natura 2000 est dans des zones agricoles, et le maintien de la biodiversité dépend

de l'adhésion des agriculteurs à leur préservation. Actions trop disparates, manque d'ambition et de moyens à l'échelle nationale : la majorité des « habitats naturels » situés dans l'espace agricole est en mauvais état de conservation¹³. De nombreuses espèces, en particulier celles dites spécialistes parce que dépendantes des espaces agricoles, sont en fort recul¹⁴. La reconquête de la



⁹ Site citoyen d'information et de partage des données brutes sur la qualité de l'eau <http://eau-evolution.fr>

¹⁰ Coût des principales pollutions agricoles de l'eau », CGDD, Etudes & Documents n°52, septembre 2011.

¹¹ La France mettra en œuvre en 2013 son cinquième programme d'actions avec une extension des zones vulnérables, signe que la pollution des nitrates est encore loin d'être résolue.

¹² Cependant, on constate que l'indicateur de suivi, le nombre unitaire de dose (NODU) a augmenté de 2,4 % entre 2008 et 2011.

¹³ Dans le cadre de l'article 17 de la Directive Habitat, l'évaluation réalisée pour la période 2001-2006 a montré que plus de 50 % des habitats agricoles étaient dans un état de conservation très défavorable.

¹⁴ C'est le cas des papillons de jour des prairies, des messicoles, de l'outarde canepetière ou du râle des genêts, toutes espèces qui, en effectifs ou en aire d'occupation, ont reculé de plus de 70% depuis les années 1970.

biodiversité est incompatible avec la poursuite de l'intensification des pratiques agricoles comme l'usage des pesticides, des engrais azotés, du drainage des zones humides, d'une irrigation qui assèche les rivières et de la destruction des infrastructures agroécologiques comme les haies ou les prés-vergers. Certaines formes d'agricultures sont en effet reconnues pour générer de la biodiversité et pour remplir quantités de services écologiques dits aussi écosystémiques.

Ces services représentent les « bénéfiques » que nous tirons du bon fonctionnement des écosystèmes, et des agrosystèmes en particulier : recyclage des éléments nutritifs, reconstitution de la fertilité des sols, fixation du

carbone, régulation des populations de ravageurs, pollinisation, tous « bienfaits » qui améliorent la productivité agricole. Plus globalement, sauver la biodiversité nous permet également de protéger, voire restaurer, notre bibliothèque génétique, ces banques de gènes qui augmentent les facultés adaptatives du vivant dans un environnement climatique susceptible de varier brutalement, et qui contiennent peut être de nouvelles molécules pour nous soigner, de nouvelles variétés pour nous nourrir.

La surface agricole à « haute valeur naturelle » (HVN) a reculé de près de 70 % entre 1970 et 2000, avec une perte de 14,4 millions d'hectares¹⁵.

Faire du maintien de la fertilité des sols le pivot de la durabilité des systèmes agricoles

Grands oubliés de la recherche agronomique passée, les sols et leur fonctionnement reviennent progressivement sur le devant de la scène. Le concept de « sol vivant » est mis en avant comme pilier de la durabilité des systèmes agricoles.

Pour l'heure, aucune directive européenne n'encadre la protection des sols agricoles. Cependant les constats sont établis¹⁶ et les principaux impacts ont été identifiés pour les sols européens : érosion, réduction de la matière organique, pollution, salinisation, perte de biodiversité, artificialisation, glissement de terrain.

En Europe :

- 115 millions d'hectares sont touchés par l'érosion hydrique ;
- 42 millions d'hectares sont touchés par l'érosion éolienne ;

- 45 % des sols ont un taux de matière organique faible ;
- la biodiversité de plus de la moitié des sols européens est affectée par un ou plusieurs stress (agriculture intensive, compaction, érosion, perte de matière organique, pollution...).

Les systèmes agricoles d'Afterres2050 font du maintien et de l'amélioration de la « qualité » des sols, des points de passage obligés.

Les sols sont également des « puits de carbone » : en 2011, ils ont stocké l'équivalent de 33 MteqCO₂¹⁷ soit 7 % des émissions totales de GES. Ce gain est dû principalement à la forêt.

Les prairies stockent du carbone mais leur conversion en terres arables, tout comme l'artificialisation, se traduit par une émission. Les terres agricoles, au total, perdent du carbone.



¹⁵ Source : POINTEREAU P., COULON F., DOXA A., JIGUET F., PARACCHINI M.L., 2010. Location of HVN farmland area in France and links between changes in high nature value farmland areas and changes in birds population. JRC/Solagro, 2010 <http://agrienv.jrc.ec.europa.eu/>

¹⁶ Voir les documents préparatoires à la mise en place d'une future directive cadre sur les sols : Soil Thematic strategy – Atlas of soil biodiversity.

¹⁷ Incluant les émissions de CH₄ et de N₂O des sols agricoles, les émissions de CO₂ liées aux apports de carbone minéral (chaux et dolomie) et le brûlage. France entière. Source : inventaire CITEPA, format CCNUCC : Convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique, mars 2012.

Emissions de CO ₂ par an Millions de tonnes		Nouvelle affectation					
		Forêt	Prairie	Terres arables	Surfaces artificialisées	Autres	TOTAL
Ancienne affectation	Forêt	-53	+2	+4	+5	+1	-40
	Prairie	-5	/	+12	+7	-2	+12
	Terres arables	-2	-9	+1	+2	-1	-8
	Surfaces artificialisées	-1	-2	-1		-1	-5
	Autres	0	+1	0	+1		+2
	TOTAL	-60	-7	+16	+15	-2	-39¹⁸

Tableau 1. Emissions de CO₂ par type d'espace et lors des changements d'affectation

Mode de lecture : la forêt a stocké 60 Mt CO₂ : 53 dans la forêt existante, 5 venant des prairies, 2 des terres arables et 1 des surfaces artificialisées qui se sont boisées. Inversement, 12 Mt CO₂ ont été émis par la conversion des forêts en prairies, terres arables, surfaces artificialisées. Les surfaces artificialisées se sont accrues au détriment des forêts, des prairies et des terres arables, opérant un déstockage du carbone. Les « prairies restantes » ne stockent pas de carbone, selon les conventions internationales utilisées ici par le CITEPA. Il est néanmoins certain que les prairies en France continuent de stocker quelques millions de tonnes de carbone par an.

Prendre en compte l'ensemble de la chaîne alimentaire dans la lutte contre le changement climatique

La feuille de route nationale consiste à réduire de 20 % d'ici à 2020 nos émissions de gaz à effet de serre conformément au paquet énergie/climat¹⁹ de l'Union européenne et, dans le cadre du Grenelle de l'environnement, de les réduire de 75 % d'ici à 2050, autrement dit, d'appliquer le facteur 4.

Le facteur 4 en 2050 signifie qu'à cet horizon, chaque habitant émettra l'équivalent de 2 tonnes de CO₂ par an, contre presque 9 tonnes aujourd'hui.

Il s'agit d'objectifs à minima. La communauté scientifique internationale et en particulier des équipes françaises²⁰ qui participent aux travaux du GIEC expriment la nécessité d'atteindre des émissions « négatives » (qui correspondent à des prélèvements du CO₂ de l'atmosphère) d'ici la fin du 21^e siècle.

La France (métropole + DOM-TOM) a émis 496 millions de tonnes équivalent CO₂ (teqCO₂) en 2010 (en tenant compte des 33 MteqCO₂ fixés par les « puits de carbone » que constituent les sols agricoles et les forêts).

Avec plus de 170 MteqCO₂, l'agriculture et l'alimentation - de la parcelle au traitement des déchets alimentaires - sont responsables de 36 % de ces émissions, plus que les secteurs des transports ou du bâtiment²¹. L'agriculture émet 86 MteqCO₂, et 108 si l'on inclut les émissions indirectes liées à la fabrication des engrais azotés, des produits phytosanitaires et à l'importation des aliments pour le bétail. Elle est responsable de 80 % des émissions de méthane et de protoxyde d'azote.

M t éq. CO ₂	CO ₂	CH ₄ éq. CO ₂	N ₂ O éq. CO ₂	Total
Emissions directes	9	42	35	86
Apports d'azote sur les sols agricoles, lessivage et volatilisation NH ₃			32	32
Fermentations entériques		34		34
Effluents d'élevage		8	3	12
Consommation d'énergie	9			9
Emissions indirectes	16	0	5	21
Fabrication engrais azotés	9		5	14
Production d'énergie	1			1
Autres intrants ²²	6			6
TOTAL	25	42	40	108

Tableau 2. Les émissions de gaz à effet de serre par les activités agricoles

¹⁸ Le tableau ne donne que les variations de stock de carbone, exprimées en CO₂, le total diffère donc des 33 MteqCO₂, citées plus haut.

¹⁹ 4 textes, notamment la directive « Énergies renouvelables » 2009/28/CE qui fixe d'ici à 2020 les objectifs de production pour chaque pays (23 % pour la France) concernant la part des énergies renouvelables dans le consommateur final d'énergie. Le secteur des transports doit utiliser au moins 10 % d'énergie produite à partir

de sources renouvelables. La décision 406/2009/CE fixe les objectifs de limitation des émissions GES dans chaque État par rapport à 2005. (- 20 % pour la France).

²⁰ Réunissant principalement le CNRS, le CEA, Météo-France, l'UPMC et l'UVSQ (notamment à travers l'IPSL, le CNRM et le CERFACS).

²¹ « Les ménages, acteurs des émissions de gaz à effet de serre ». IFEN, numéro 115, Nov. Déc. 2006.

²² chaux, autres engrais, produits phytosanitaires, « énergie grise » des bâtiments et engins agricoles.

Adapter les agrosystèmes et la forêt aux changements climatiques

Les changements climatiques impacteront le comportement de nos cultures alors que celles-ci seront également confrontées à des aléas extrêmes de plus forte intensité. La croissance des végétaux, c'est à dire le bon déroulement des cycles végétatifs, de la germination à la mort, est en effet piloté par un cumul de températures tandis que leur développement, leur « productivité » dépend de la disponibilité en eau.

Compte tenu de la diversité des situations climatiques en France, les modifications climatiques (augmentation des températures et baisse des précipitations) seront pénalisantes sur certaines zones mais offriront de nouvelles opportunités sur d'autres.

Schématiquement, au sud de la Loire, les changements devraient accentuer les contraintes actuelles, déjà fortes : déficits hydriques marqués notamment en été, climat plus fortement érosif, diminution de la matière organique des sols.

Au nord de la Loire, ces changements pourraient être bénéfiques à certaines cultures du fait de la réduction

des phénomènes d'engorgement des sols et de l'allongement des périodes de croissance ; allongement lui-même lié à la diminution des périodes de gel.

Reste l'incertitude sur les aléas extrêmes qui impactera la production de biomasse sans qu'elle soit à ce jour possible à évaluer.

Rappelons que la canicule de 2003 a réduit de 25 % la production agricole nationale et montré notre vulnérabilité.

Quant à la réponse de nos forêts aux événements extrêmes comme aux évolutions de fond, elle est - entre stress hydrique, tempêtes, augmentation des besoins en eau du fait d'un allongement des périodes de végétation, apparition de nouvelles maladies - tout aussi difficile à prévoir.

Le déplacement des aires de distribution des essences d'arbres est considéré comme inéluctable, sous réserve que les essences aient le temps de migrer avant de dépérir. Les forestiers s'interrogent dorénavant sur la modification des essences utilisées dans les reboisements pour mieux anticiper le changement climatique.

Faire vivre une agriculture et des territoires ruraux dynamiques

Excepté durant quelques embellies ponctuelles dans les années 70-80, l'agriculture conventionnelle s'est développée au détriment de l'emploi agricole. 21 000 emplois ont été ainsi perdus en moyenne chaque année entre 2000 et 2010. Ce phénomène s'est accompagné d'un agrandissement des exploitations et d'un creusement des inégalités entre grandes exploitations et petites exploitations.

Les dernières projections réalisées à la demande du ministère de l'Agriculture prévoient une réduction de 1,7 à 3,3 % par an du nombre de chefs d'exploitation d'ici à 2030. Aucun scénario ne table sur une augmentation de la population agricole.

Ce recul constant du nombre d'actifs, les difficultés d'installation des jeunes, le mouvement de désaffectation général pour les activités agricoles et forestières, sont des signaux très inquiétants. L'agriculture ne fait plus correctement vivre tous les agriculteurs.

Notre projet est également soucieux de la santé des agriculteurs eux-mêmes en réduisant le recours aux pesticides. Les agriculteurs constituent en effet une population où certaines maladies sont surreprésentées²³.

²³ Le monde agricole en tendance – Centre de prospective - Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche - La documentation française 2011 – ISBN 978-2-11-008879-6

La construction du scénario Afterres2050 le modèle MoSUT

Le scénario Afterres2050 a été construit à l'aide de MoSUT - Modèle Systémique d'Utilisation des Terres - un outil de modélisation conçu et développé par Solagro.

Basé sur des données physiques, il met en correspondance :

- *des productions, qui sont reliées à des surfaces et à des rendements, lesquels dépendent de facteurs de production (engrais...),*
- *une demande en denrées agricoles et sylvicoles pour l'alimentation, la production de matériaux et d'énergie.*

Constitué d'une série de tableurs interdépendants, c'est un modèle « récursif » : les variables de demande et d'offre s'ajustent progressivement entre les choix et les résultats observés, résultats qui conduisent parfois à modifier les hypothèses initiales.

Etape 1 : Alimentation humaine

La modélisation fait varier :

- La demande alimentaire (qualité et quantité d'aliments pour satisfaire aux besoins nutritionnels) ;
- La proportion des denrées alimentaires d'origines animales et végétales pour les apports en protéines ;
- Les pertes et gaspillages.

La première étape consiste à décrire et projeter l'évolution du régime alimentaire de la population française pour les 40 prochaines années.

Les besoins alimentaires sont décrits selon plusieurs paramètres clés : l'énergie, les protéines, les lipides, les sucres, le calcium.

La quantité d'énergie nécessaire est estimée à partir des projections tendanciennes de la population et de la taille moyenne des personnes. L'indice de masse corporelle²⁴ est un paramètre variable dont dépendent les quantités nécessaires à la satisfaction des besoins.

A partir de ces données, on peut estimer les besoins alimentaires (de type « apports nutritionnels conseillés ») en valeur énergétique, protéinique, en sucres et en lipides. Les statistiques disponibles mettent en évidence un écart important entre les quantités correspondant aux apports nutritionnels conseillés et la consommation réelle de denrées alimentaires. Cet écart est dû d'une part à une surconsommation et d'autre part à des pertes et gaspillages, susceptibles d'être réduits.

Un facteur de surconsommation ainsi qu'un taux de pertes et de gaspillage sont introduits dans le modèle. Nous distinguons :

- les « pertes évitables » qui sont dues à des gaspillages d'aliments à proprement parler ainsi qu'aux quantités perdues dans les chaînes de transformation et de distribution,

- les « pertes inévitables », constituées des matières non consommables (épluchures, os...).

Le modèle construit permet, à partir de l'évaluation de la satisfaction des besoins nutritionnels, d'évaluer la nécessaire disponibilité en denrées alimentaires, c'est-à-dire la quantité et la nature des produits qui doivent être mis à disposition du consommateur.

Cette analyse est réalisée pour les principales denrées alimentaires dont la disponibilité est connue grâce aux statistiques publiées par la FAO depuis 1961, avec leur valeur en énergie, protéines et lipides.

Le modèle permet de faire varier la proportion des différentes catégories d'aliments (plus de 70 au total) : 7 céréales, 6 légumineuses, 14 huiles, 15 fruits et légumes, 8 produits animaux, 4 boissons, 9 produits aquatiques... de manière à obtenir le résultat souhaité pour chacun des paramètres clés.

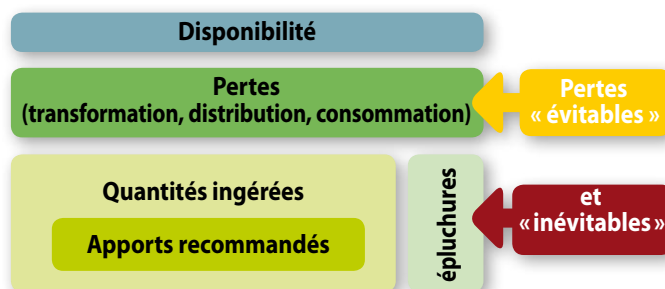


Figure 2 : La modélisation des pertes alimentaires

Etape 2 : Bilan d'approvisionnement par denrée agricole

La modélisation fait varier les importations/exportations et intègre toutes les modélisations relatives à l'alimentation humaine et l'alimentation des animaux, étapes de transformations comprises.

Un bilan d'approvisionnement est un tableau « emplois/ressources ». Les ressources sont constituées de la production intérieure et des importations. Les emplois sont constitués des exportations et de la consommation intérieure, qui elle-même se décompose entre alimentation humaine, alimentation animale, semences, transformations et autres utilisations. Les emplois et ressources sont égaux aux variations de stock près.

Les ressources en blé sont constituées essentiellement par la production nationale, les importations sont marginales. Côté emplois, les exportations, qui ont considérablement augmenté depuis 1960, se stabilisent et n'évoluent que peu d'ici 2050. La demande

intérieure se modifie sensiblement : l'alimentation animale diminue alors que l'alimentation humaine augmente.

Les bilans d'approvisionnement de certaines denrées agricoles ne peuvent être correctement décrits qu'en intégrant plusieurs bilans : c'est le cas par exemple des oléagineux qui produisent à la fois de l'huile et des tourteaux, chacun ayant son propre bilan d'approvisionnement. Nous avons également mis en cohérence les bilans du raisin de cuve, du vin et de l'alcool, qui sont articulés les uns aux autres.

²⁴ Indice de masse corporelle : exprimé en kg par m², il s'obtient en divisant le poids par la taille au carré. C'est un indicateur de corpulence.

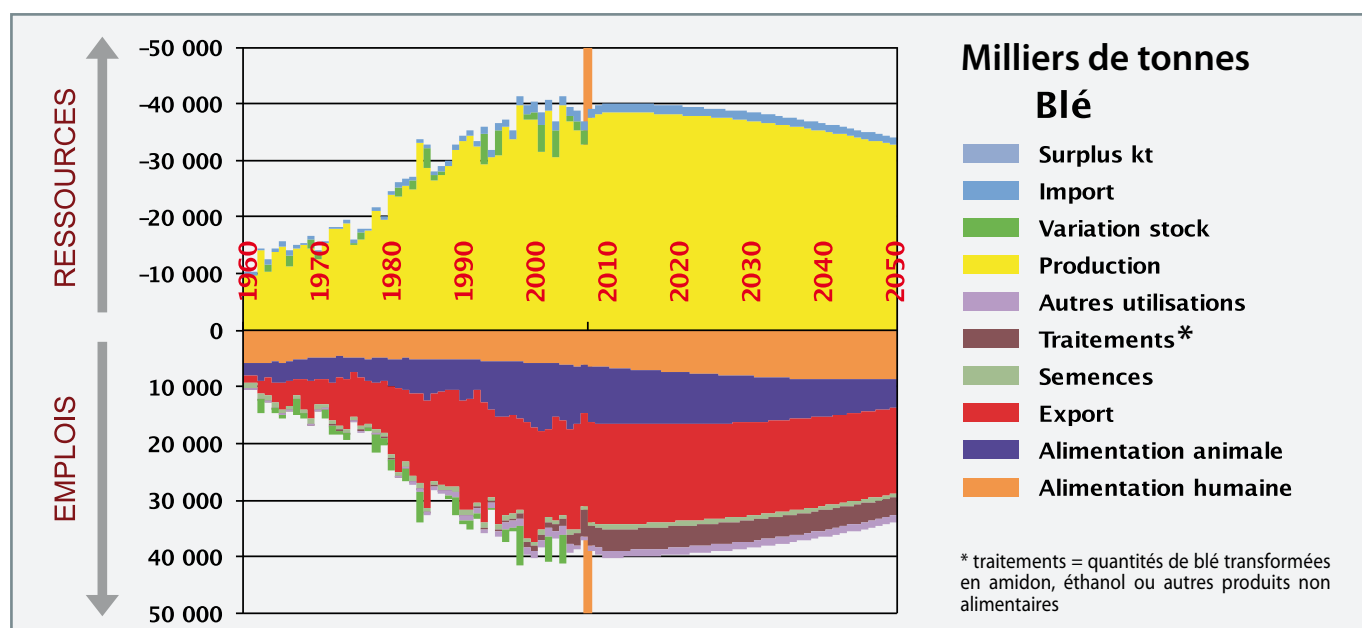


Figure 3 : Extrait du scénario : l'évolution du bilan d'approvisionnement du blé en milliers de tonnes.

Le bilan d'approvisionnement permet de passer d'une demande de consommation en produits alimentaires à un besoin de production intérieure de produits agricoles.

Déterminée au cours de l'étape précédente, la demande liée à l'alimentation humaine intègre une demande en produits animaux, laquelle conditionne un besoin de productions animales, donc un besoin en denrées agricoles pour l'élevage des animaux.

Le régime alimentaire des animaux d'élevage est, pour sa part, décrit plus loin dans l'étape n°4.

Le bilan d'approvisionnement fait également appel à des hypothèses sur les importations et les exportations.

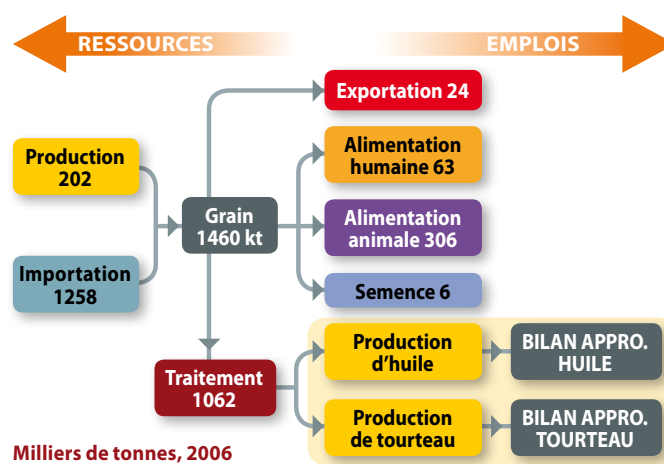


Figure 4 : Exemple d'un bilan d'approvisionnement (grain de soja)

Etape 3 : Systèmes de cultures

La modélisation consiste à décrire différents systèmes agricoles (conventionnel, biologique, intégré) et leurs variantes selon les pratiques (avec cultures associées ou intermédiaires, agroforesterie), à décrire leur évolution dans le temps, et à faire varier la place occupée par chacun de ces systèmes, pour chacune des 23 cultures principales.

Blé tendre	Maïs grain	Pois fourrager	Prairie naturelle peu productive
Blé dur	Maïs fourrage	Féverole	Pomme
Orge	Colza	Prairie naturelle productive	Vigne
Triticale	Tournesol	Prairie temporaire graminées	Betterave sucrière
Avoine	Soja	Prairie temporaire légumineuses	Pomme de terre
Seigle	Sorgho	Prairie temporaire mélangée	

Tableau 3 : Les 23 productions modélisées

Chaque culture a été caractérisée par des rendements prévisionnels en fonction des facteurs de production et divers indicateurs rapportés à l'hectare de culture, selon le système de production dans lequel elle est intégrée. Chaque système est lui-même caractérisé par

des jeux d'hypothèses cohérents : rendements pour la culture principale et le cas échéant pour les cultures intermédiaires, les cultures associées, les haies et arbres ; les besoins en azote, la consommation de carburant, de produits phytosanitaires, d'eau pour l'irrigation.

Trois grands types de systèmes sont modélisés, avec leurs variantes (selon que l'on pratique ou non les cultures intermédiaires, les cultures associées, l'agroforesterie) :

- L'agriculture « conventionnelle », avec sa variante « raisonnée » ;

Production intégrée

La production intégrée est « une approche globale de l'utilisation du sol pour la production agricole. La production intégrée cherche à réduire l'utilisation d'intrants extérieurs à l'exploitation (énergie, produits chimiques, eau), en valorisant au mieux les ressources naturelles et en mettant à profit des processus naturels de régulation », comme la biodiversité. L'un de ses promoteurs en France (Philippe Viaux²⁵) la présente comme la voie intermédiaire entre l'agriculture intensive et l'agriculture biologique et qui se propose de concilier le respect de l'environnement, la qualité et la rentabilité.

Les bases et les règles de la production intégrée ont été définies par l'OILB (Office International de Lutte Biologique²⁶) en 1992. La production intégrée se situe dans la continuité des découvertes faites au début du XX^e siècle autour de la lutte biologique intégrée (encore appelée protection intégrée) dans les vergers californiens. A cette époque, la lutte chimique, créatrice de phénomènes de résistance des ravageurs, n'était plus en capacité de protéger la production. La logique appliquée alors à la lutte contre les ravageurs, s'est étendue à l'ensemble des facteurs de production (nutriments, fongicides, herbicides, eau, travail du sol).

L'agriculture de conservation et l'agroécologie sont des concepts très proches de la production intégrée ; reposant sur les mêmes bases agronomiques et réduisant de fait l'utilisation d'intrants. L'agriculture biologique, bien qu'ayant des fondements proches, propose comme point de départ la non utilisation de produits chimiques de synthèse.

Agriculture de conservation (AC)

Selon la FAO²⁷, « l'agriculture de conservation vise des systèmes agricoles durables et rentables et tend à améliorer les conditions de vie des exploitants au travers de la mise en œuvre simultanée de trois principes à l'échelle de la parcelle : le travail minimal du sol ; les associations et les rotations culturales et la couverture permanente du sol. L'AC présente un grand potentiel pour tous les types d'exploitations agricoles et d'environnements agroécologiques. Elle est d'un grand intérêt pour les petites exploitations ; celles dont les moyens de production limités, ne permettant pas de lever la forte contrainte de temps et de main d'œuvre, constituent une cible prioritaire. C'est un moyen de concilier

- L'agriculture « biologique » ;
- L'agriculture « intégrée ».

Voir ci-après pour les principales définitions.

production agricole, amélioration des conditions de vie et protection de l'environnement. L'AC est mise en œuvre avec succès par différents types de systèmes de production et dans une diversité de zones agroécologiques. Elle est perçue par les utilisateurs comme un outil valable pour la gestion pérenne du terroir. La FAO est engagée dans la promotion de l'AC, tout particulièrement dans les pays en voie de développement.»

Cette agriculture, qui ne fait pas l'objet d'un cahier des charges ou d'une labellisation, rassemble quelques milliers d'agriculteurs à ce jour en France.

Agroécologie

« L'agroécologie recherche une optimisation de l'ensemble de l'agroécosystème. Elle permet de mettre sur pied des systèmes agricoles très diversifiés qui favorisent la conservation des terres, la restitution de la matière organique et des nutriments au sol, la création endogène de moyens de contrôle biologique contre les ravageurs, l'utilisation multiple du paysage » (M.A. Altieri, 1983).

Il n'existe pas de cahier des charges officiel de l'agroécologie. C'est une démarche de progrès qui se base sur l'association de 6 principes :

- Adapter les cultures et les races animales à l'environnement et aux conditions pédoclimatiques (utilisation de races, d'espèces et de variétés adaptées au type de sol, au climat).
- Diversifier les ressources génétiques (variétés résistantes et adaptées au bas niveau d'intrants, mélange de variétés).
- Optimiser le flux d'énergie solaire et le stock de nutriments dans le sol (diversification de l'assolement, association de cultures, agroforesterie, couverture permanente).
- Entretenir la fertilité des sols (engrais vert, mulch, semis sous couvert, introduction de plantes fixatrices d'azote, recyclage de la matière organique, réduction du travail du sol, ...).
- Réduire la consommation d'énergie et de ressources en minimisant les pertes (recyclage des nutriments, protection contre l'érosion, brise-vent, prévention du lessivage, autonomie des systèmes fourragers, pâturage, ...).

²⁵ Cf Systèmes intégrés : une troisième voie en grandes cultures – 2^{ème} édition – Editions France Agricole

²⁶ www.iobc-wprs.org/

²⁷ <http://www.fao.org/ag/ca/fr/index.html>

- Maintenir un équilibre avec les populations de ravageurs et favoriser les pollinisateurs (favoriser les auxiliaires et les pollinisateurs par le maintien ou la constitution d'infrastructures agroécologiques, plantes piéges, ...).

Agriculture biologique

L'agriculture biologique est un « concept global qui s'appuie sur le choix de valeurs comme le respect de la terre

et des cycles biologiques, la santé, le respect de l'environnement, le bien-être animal, la vie sociale »... « C'est un mode de production agricole fondé sur un ensemble de techniques complexes excluant l'utilisation de produits chimiques de synthèse ». FNAB (Fédération Nationale d'Agriculture Biologique²⁸).

²⁸ <http://www.fnab.org/>

Quelques exemples de pratiques agroécologiques



Couvert mélangé associant des légumineuses (moutarde – féverole) semé en direct dans des pailles de blé.



Pré-verger : un exemple d'agroforesterie traditionnelle.



Culture associées céréale - légumineuse : blé dur d'hiver associé au pois d'hiver.



Couvert de sarrasin semé entre un blé et un tournesol.



Colza semé avec des techniques de travail simplifié du sol (strip till) dans des pailles de blé.



Technique de travail simplifié du sol : strip-till à disques couplé à un élément semeur.

Les projections sont plus ou moins contrastées selon la part plus ou moins importante donnée à l'agriculture conventionnelle, raisonnée, biologique ou à la production intégrée.

Le rythme de la transition agricole proposé dans Afterres2050 définit un continuum au cours duquel l'agriculture conventionnelle laisse la place progressi-

vement à la production intégrée et à l'agriculture biologique pour disparaître vers 2030. En 2050, seul 10 % d'agriculture raisonnée (forme optimisée de l'agriculture conventionnelle) persiste. Plusieurs variantes peuvent s'agréger autour de ces systèmes « basiques » en fonction des potentialités agronomiques des territoires : agroforesterie, cultures associées...

		2010	2030	2050
Rendement culture principale	t	6,9	6,0	5,3
Rendement culture associée	t	0,00	0,20	0,40
Rendement culture intercalaire	t	0,04	0,57	1,15
Production bois fort (agroforesterie)	t	0,00	0,06	0,13
Production bois d'industrie / bois énergie (haies + agroforesterie)	t	0,07	0,19	0,30
Résidus de culture	t	6,9	6,1	5,5
TOTAL BIOMASSE AERIENNE	t	13,9	13,2	12,8
Exportation azote	kg N	174	185	210
Besoin azote hors fixation symbiotique	kg N	172	151	133
Fixation symbiotique d'azote	kg N	2	39	77
Coefficient de Rendement équivalent ²⁹		1	1,05	1,14
Consommation d'énergie	GJ	94,7	70,7	63,4
% surface irriguée		0%	24%	24%
Stock de carbone	t C	43	44	47
Surface des infrastructures agroécologiques arborées	%	1,9	3,3	4,7
Indice de fréquence de traitement phytosanitaires (IFT)	Nombre	6,0	3,0	1,4

Tableau 4 : Exemple de résultat : Synthèse des principales caractéristiques d'une parcelle de blé tendre d'un hectare (intégrant une part d'agroforesterie et de cultures associées). Un IFT de 1 correspond à un traitement pleine dose sur l'ensemble de la parcelle.

Etape 4 : Systèmes d'élevage

La modélisation consiste à décrire différents types d'élevage (extensif, intensif, semi-intensif et toutes leurs variantes) et leur évolution, et à faire évoluer la proportion de chacun.

Ont été modélisés : les bovins viande et lait, les porcins, les ovins, les volailles et les caprins.

Un « système d'élevage » repose sur un jeu d'hypothèses propre à chaque catégorie. Les facteurs clés sont liés au régime alimentaire des cheptels et à des indices de « production » pour les productions principales (la viande, ou le lait par exemple) et les productions associées (la viande dans les élevages laitiers).

Pour les bovins lait par exemple, les paramètres sont la production de lait par vache, le temps de pâture, la ration en fourrages et en concentrés, le poids vif à l'abattage, la suite (génisses, veaux mâles)...

Les indicateurs sont rapportés à la production de viande en poids vif (PV). Ils permettent de calculer d'une part les besoins en aliments pour animaux, d'autre part les productions de viande, lait et œufs associées.

D'autres facteurs pertinents sont également calculés, par exemple la digestibilité des aliments ou le sys-

tème de gestion des déjections d'élevage, facteurs qui entrent en ligne de compte dans les émissions de gaz à effet de serre par exemple.

Pour chaque type d'élevage, l'ensemble du troupeau est modélisé : alimentation, temps de présence, poids vif, etc. Les indicateurs sont en général rapportés à la catégorie d'animaux les plus représentatifs : pour les ruminants, ce sont les mères (vaches allaitantes, vaches laitières, brebis mères, chèvres) qui sont indiquées, mais les autres catégories (génisses, veaux, taurillons, agneaux, boucs, etc.) sont également comptabilisées dans les calculs détaillés. Pour les porcins, l'indicateur est le nombre de porcs à l'engraissement, et pour les volailles l'indicateur choisi est le nombre de poulets de chair et le nombre de poules pondeuses.

²⁹ Cf page 36 pour la définition

Bovin lait	2010	2030	2050
Fourrages, tMS/tPV*	18,6	17,5	17,3
Pâturage, tMS/tPV*	10,0	11,5	11,5
Concentrés, t/tPV*	6,5	5,4	4,3
Production de lait, litre / vache	6500	5850	5875
Temps de pâture, %	37%	44%	47%
Atténuation fermentation entérique	0	8%	20%

Tableau 5 : Exemple d'évolution des facteurs de production d'une vache laitière entre aujourd'hui et 2050.

*PV = poids vif. Pâturage : tonnes de matières sèches pâturées. Fourrages et concentrés : tonnes de matières sèches consommées à l'étable. Les fourrages regroupent le foin et l'ensilage.

Etape 5 : Calcul des surfaces agricoles

A ce stade des calculs, on connaît désormais la quantité de denrées agricoles à produire sur le territoire métropolitain pour nourrir les hommes et les cheptels, en tenant compte du solde exportateur ou importateur. L'étape suivante consiste à calculer les surfaces nécessaires pour chaque culture, en divisant les quantités à produire par les rendements.

A partir de ces surfaces et des indicateurs issus du module « cultures », on détermine également les productions de cultures associées, de cultures inter-

médiaires, de résidus de culture, les besoins d'azote, les exportations d'azote, l'azote fixé par voie symbiotique, la consommation d'énergie, la consommation d'eau, l'indice de fréquence de traitement par produits phytosanitaires...

Le modèle détermine également les cheptels animaux à partir des productions animales (viande, lait, œufs), ainsi que les besoins en surfaces fourragères et en prairies en divisant les besoins en fourrages par les rendements.

Etape 6 : L'utilisation des sols

Le territoire métropolitain est divisé en grandes catégories issues de l'enquête Teruti-Lucas³⁰ réalisée par le ministère de l'agriculture. Outre les surfaces agricoles calculées lors des étapes précédentes, des hypothèses d'évolution sont adoptées sur les surfaces forestières, les espaces naturels tels que friches, landes, et les surfaces artificialisées.

Pour des surfaces en friches ou en landes, les évolutions adoptées sont tendanciennes, les lacs, les rivières, les espaces rocheux restant à surface équivalente.

Plusieurs hypothèses ont été envisagées pour l'artificialisation, allant jusqu'à un arrêt total de l'artificialisation, à terme.

Dans le scénario tendanciel, les surfaces utilisées (pour se nourrir, ainsi que les surfaces artificialisées) augmentent pour répondre à des besoins d'espace croissants. Cette augmentation s'effectue au détriment de la forêt. La forêt est, de fait, une importante

« variable d'ajustement » du module d'utilisation des terres, surtout dans le scénario tendanciel. Dans le scénario Afterres2050, les surfaces occupées pour répondre aux besoins (tels qu'ils sont aujourd'hui) sont plus faibles en 2050 qu'aujourd'hui. D'où l'apparition de surfaces agricoles à réaffecter à d'autres usages que les usages traditionnels.

Quelles surfaces sera-t-il possible de dédier à la production de matériaux, d'énergie, sous quelle forme? Faut-il utiliser les surfaces pour extensifier au maximum l'élevage ou au contraire redéployer de l'élevage ou d'autres productions pour l'exportation? Doit-on créer de nouvelles réserves naturelles, éventuellement totalement soustraites aux interventions humaines?

Le scénario Afterres2050 ne répond pas à ces questions, il quantifie les possibles et les enjeux et propose une affectation cohérente qui permet d'ouvrir le débat.

Etape 7 : L'impact climatique et environnemental

Le scénario est évalué à l'aide de ClimAgri®, outil développé en 2012 par Solagro pour le compte de l'ADEME. ClimAgri® évalue de manière approfondie les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture et de la forêt à

l'échelle des territoires. La version utilisée dans le projet Afterres2050 est une adaptation de ClimAgri® qui intègre d'autres indicateurs.

³⁰ <http://agreste.agriculture.gouv.fr/>

Gaz à effet de serre et stock de carbone

Les émissions de GES évaluées sont de plusieurs types :

- les émissions directes de l'agriculture :
 - méthane et protoxyde d'azote émis par l'utilisation des matières fertilisantes,
 - les fermentations entériques,
 - les combustibles et carburants utilisés par le secteur agricole,
- les émissions induites par les intrants : denrées agricoles importées, fabrication des engrais et des produits phytosanitaires,
- les émissions indirectes, notamment celles du secteur énergétique.

Bilan d'azote

La modélisation permet d'établir un bilan d'azote détaillé. Ce bilan intègre :

- les quantités d'azote disponibles fournies par fixation symbiotique (légumineuses) ;
- les quantités liées à la recirculation et au recyclage de l'azote : résidus de cultures, déjections d'élevage, redéposition atmosphérique, engrais verts ;
- les besoins en azote des cultures sur la base des quantités disponibles ;
- les émissions des matières azotées dans l'air et dans

Indicateurs environnementaux

L'évaluation environnementale offre également plusieurs indicateurs tels que :

- le nombre de traitements en produits phytosanitaires,

ClimAgri® permet également de calculer le stock de carbone dans les sols et dans la biomasse aérienne forestière ainsi que la variation de ce stock en cas de changements d'affectation des sols et de modification des pratiques.

Cette variation de stock de carbone est comptabilisée comme un puits de carbone lorsqu'elle est positive, et en émission lorsqu'elle est négative.

Le carbone stocké dans les matériaux (bois de construction, produits biosourcés) n'est en revanche pas compté dans le bilan global.

l'eau liées à la volatilisation et au lessivage, avec des coefficients variables selon la nature des matières azotées apportées et les pratiques de fertilisation ;

- l'apport d'engrais de synthèse, qui est la valeur de bouclage du bilan.

Pour chacune de ces matières, une hypothèse sur le coefficient réel d'utilisation est scénarisée. L'outil évalue les quantités d'azote émises dans l'air sous forme d'ammoniac et dans l'eau sous forme de nitrates, dont une partie est convertie en protoxyde d'azote.

- la quantité d'eau utilisée en irrigation,
- la proportion de celle-ci consommée en été,
- la proportion d'infrastructures agroécologiques.

Etape 8 : Usages non alimentaires de la biomasse

La modélisation repose sur une estimation des flux de biomasse potentiellement disponible, et pour chaque type de biomasse, un taux de mobilisation : bois d'œuvre, bois d'industrie, bois énergie, déjections d'élevage, résidus de culture...

Les biomasses valorisables en énergie sont converties selon leur nature en combustible, biogaz, carburant. Des indicateurs permettent de mesurer le taux de prélèvement global en biomasse agricole (couverts, pailles de céréales) et forestière (bois, branchages, rémanents) pour s'assurer que l'on ne dépasse pas la valeur maximale compatible avec la régénération des sols et la préservation de la biodiversité.

C'est à ce stade que les données scénarisées dans Afterres2050 sont articulées et mises en cohérence avec le scénario négaWatt. Les besoins de biomasse utilisables pour la production d'énergie mais aussi pour la production d'écomatériaux : bois de construction, isolants et autres matières biosourcées sont les mêmes dans les deux scénarios.

Afterres2050

Hypothèses et résultats

L'alimentation humaine

Manger mieux et un peu moins

Selon l'INCA³¹, nous surconsommons des protéines et des sucres simples : notre bol alimentaire comprend en effet :

- 45 % de trop pour les protéines, notre consommation étant de 90 grammes par jour et par personne au lieu des 52 grammes conseillés,
- 25 % de trop pour le sucre.

Il est donc proposé dans Afterres2050 de :

- Réduire de 25 % notre consommation totale en

protéines c'est-à-dire de passer de 90 à 70 g/j/ personne pour un apport nutritionnel conseillé (ANC) d'environ 50 à 60 g pour un adulte ;

- Ramener de 14 % à 11 % le rôle du sucre dans nos apports énergétiques soit supprimer l'équivalent de 4 morceaux de sucre par jour sur les 20 ingérés aujourd'hui ;
- Maintenir l'indice de masse corporelle au niveau de celui de l'année 2000.

Gaspiller moins, recycler plus

- Une part trop importante de la production agricole alimentaire consommable finit à la poubelle : 190 kg par an et par personne entre la sortie de la ferme et l'estomac³². S'y ajoutent les pertes sur la ferme qui s'élèvent à 90 kg par an.

Un tiers de la production mondiale d'aliments est perdue ou gaspillée chaque année, ce qui représente 1,3 milliard de tonnes d'aliments. Dans les pays du Nord, les gaspillages se produisent majoritairement au niveau du consommateur et de la distribution.

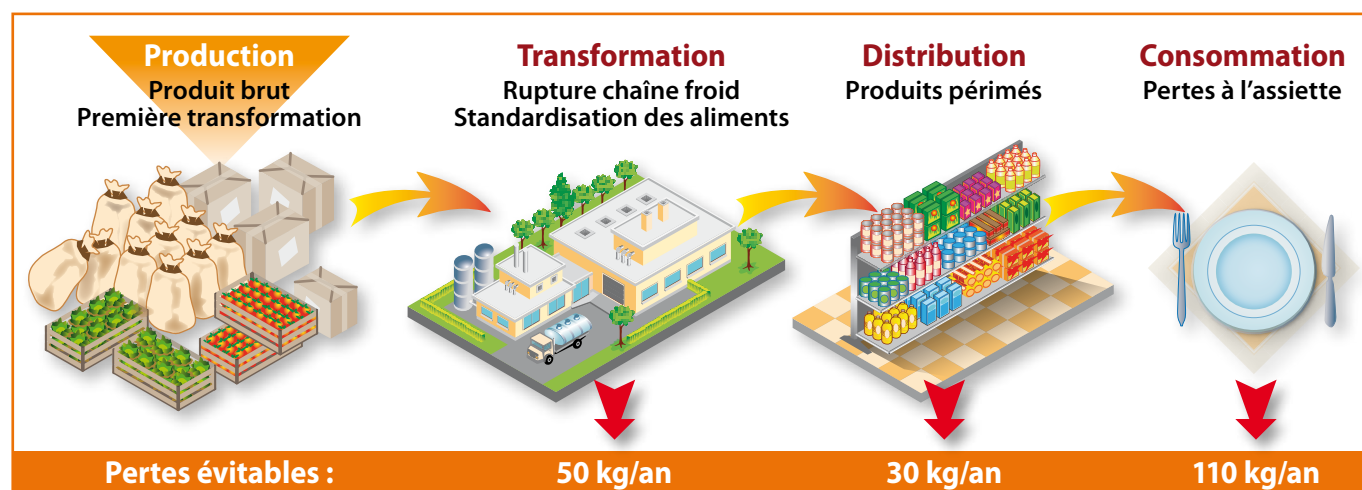


Figure 5 : Pertes alimentaires par personne et par an - Moyennes (Europe, Amérique du Nord), à partir des données du rapport FAO 2011

Dans Afterres2050, nous partons du principe qu'il est possible³³ et souhaitable de :

- diviser par plus de deux les pertes « évitables » (-60 %) c'est-à-dire les aliments jetés alors qu'ils étaient consommables sur l'ensemble de la chaîne³⁴,
- recycler les pertes inévitables pour les valoriser (en énergie, en engrais sous forme de compost ou de digestat de méthanisation : épluchures, coquilles d'œufs...).

Les valeurs antérieures à 2010 sont reconstituées à partir des statistiques de la FAO (disponibilité alimentaire) et de besoins calculés à partir des chiffres de population. La décomposition en « déchets comestibles » (pertes évitables), « déchets non comestibles » (pertes inévitables) et « surconsommation » sont des estimations.

³¹ INCA : Etude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires (INCA1 en 1998-1999 et INCA2 en 2006-2007)

³² FAO – Mai 2011 - "Global food losses and food waste"

³³ « La grande [sur-] bouffe », Bruno Lhoste, Octobre 2012, Edition Rue de l'Echiquier

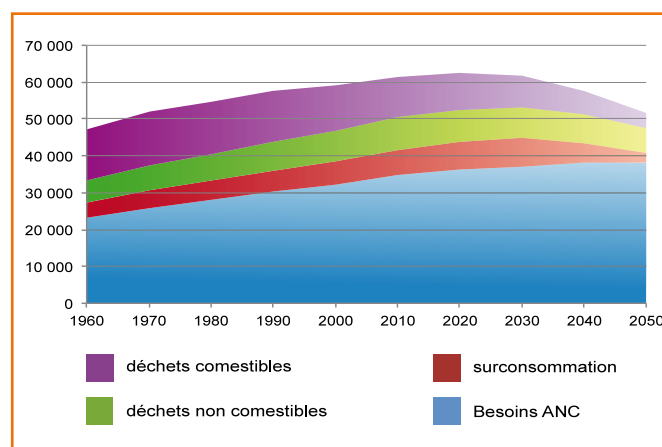


Figure 6 : Comparaison entre les besoins nutritionnels conseillés et la disponibilité alimentaire.

³⁴ Objectif conforme à la résolution du Parlement Européen du 19 Janvier 2012 de réduire de moitié le gaspillage alimentaire à l'horizon 2025

Trouver un nouvel équilibre entre protéines animales et végétales

Les protéines animales représentent 62 % de nos apports en protéines.

Cette situation est lourde de conséquences sur l'utilisation des sols et l'émission de gaz à effet de serre. En effet, 80 % des surfaces agricoles en France sont utilisées pour l'alimentation animale dont 35 % seulement provient des prairies permanentes. Les prairies sont

valorisées par les ruminants, forts émetteurs de gaz à effet de serre. Le reste (hors sous-produits comme les tourteaux ou le son) de la production est en concurrence directe avec l'alimentation humaine ou d'autres productions. Il faut de 2 à 10 kg d'aliments pour produire 1kg de viande.

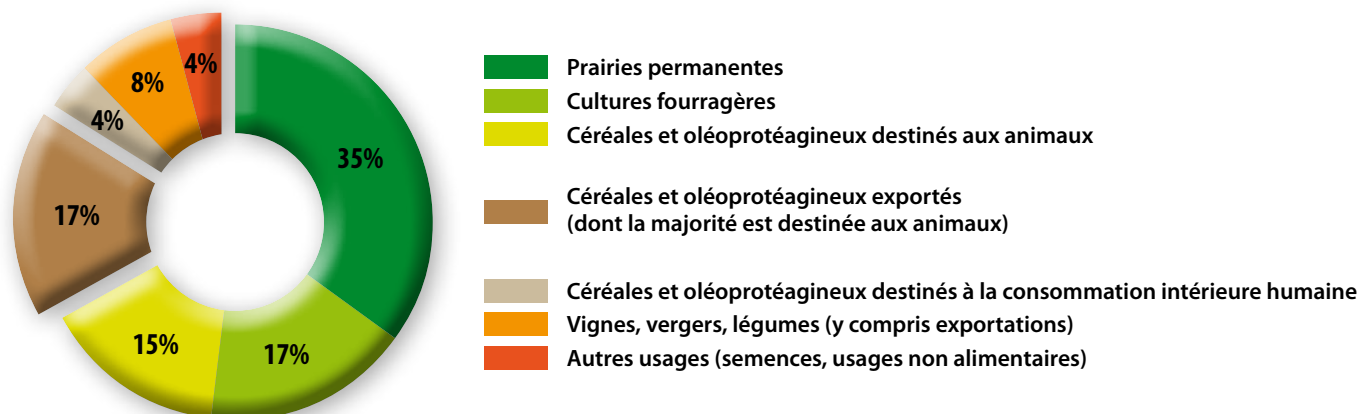


Figure7 : Destination des surfaces agricoles par usages. Les surfaces fournissant plusieurs usages ont été affectées au prorata des différents co-produits (notamment les oléagineux). Les répartitions sont basées sur les ressources totales (production et importations). Ce bilan ne tient pas compte des surfaces importées destinées tant à la consommation humaine qu'à l'alimentation animale. L'alimentation des animaux représente environ 80 % du total de la SAU.

Du point de vue nutritionnel, une réduction de la part de protéines animales est possible. En effet, selon l'ANSES (ex AFSSA), Agence nationale de sécurité sanitaire, il est possible de couvrir nos besoins en acides aminés indispensables en consommant uniquement des protéines animales ou uniquement des protéines végétales, sous réserve d'associer des céréales à des légumineuses.

Il n'y a donc pas de minimum de protéines animales recommandé, mais plusieurs avis convergent pour dire

qu'un tiers de protéines animales dans la ration permet de satisfaire nos besoins en acides aminés essentiels.

Un renversement de la part respective des protéines animales et des protéines végétales est proposé dans Afterres2050, soit une couverture de nos besoins protéiques par **62 % de produits d'origine végétale et 38 % d'origine animale**.

Couplé à la réduction de la surconsommation, ce renversement conduit à une division par deux de la consommation de viande.

Répartition de la consommation de protéines

Les protéines sont composées de 20 acides aminés dont 8 sont qualifiés d'acides aminés indispensables (AAI) parce que :

- notre organisme est incapable de les synthétiser,
- tous sont nécessaires à une assimilation correcte des protéines. Même si notre alimentation nous fournit 7 des 8 AAI en quantité suffisante, l'absence du huitième ou sa présence à un faible taux, limite l'assimilation globale des protéines. La viande, les produits laitiers, les œufs ou le poisson sont des sources de protéines de « haute qualité » car ils contiennent les 8 AAI.

Les protéines de céréales sont considérées de qualité inférieure, car quand elles sont consommées seules, elles sont déficientes en lysine, un acide aminé limitant. D'où l'intérêt de l'association céréales + légumineuses.

Les légumineuses - lentilles, fèves, haricots, petits pois... - sont en effet largement pourvues en lysine. Associer au cours du même repas des céréales (2/3) et des légumineuses (1/3), permet d'obtenir tous les acides aminés indispensables et par conséquent de satisfaire nos besoins en protéines.

Réduire le calcium apporté par les produits laitiers

La consommation de produits laitiers recommandée par le Programme National Nutrition Santé (PNNS) est de 3 produits laitiers par jour, voire 4 pour les personnes âgées afin de subvenir aux besoins en calcium (estimés en France à 900 mg/j/personne³⁵).

En Grande-Bretagne, une consommation de calcium de 700 mg/j/personne est conseillée par le ministère de la santé (National Health Service) tandis que la Harvard School of Public Health recommande de ne consommer qu'un seul produit laitier par jour et que l'OMS estime suffisante une consommation moyenne de 400 à 500 mg/j/pers dans un régime alimentaire par ailleurs équilibré.

De nombreuses controverses existent donc concernant les apports en calcium³⁶. Plusieurs travaux précisent qu'un régime moins riche en protéines animales nécessite un apport moindre en calcium du fait des « fuites » évitées. Le tabac, la sur-consommation d'alcool et l'absence d'exercice physique seraient aussi des éléments défavorables à une bonne valorisation des quantités ingérées. Dans Afterres2050, l'apport du calcium par le

lait est fixé à 200 mg/j/pers, sur un total de 700 mg/j/pers, ce qui correspond à la consommation de 1 à 2 produits laitiers par jour plutôt que les 3 recommandés par le PNNS, le reste étant apporté par une alimentation variée. Les produits laitiers n'ont pas le monopole du calcium : épinards, brocolis, noix, oranges, amandes, noisettes, dattes, sardines, sont d'excellentes sources de calcium sans oublier l'eau !

Résoudre de manière objective la question du calcium est capital compte tenu de son impact sur le dimensionnement du cheptel national.

Dans Afterres2050, la consommation de produits laitiers est fortement réduite à un niveau permettant néanmoins de satisfaire la totalité de nos besoins en calcium. Cette hypothèse, couplée à une réduction de la consommation de viande entraînerait une forte réduction de l'élevage bovin viande spécialisé à l'horizon 2050. Le cheptel serait dominé par des vaches laitières.

Afterres2050 propose donc de redéployer des troupeaux de races mixtes³⁷ qui sont d'une plus grande plasticité, et en capacité de valoriser les prairies.

Le paradoxe du calcium : plus notre alimentation est riche en protéines animales, plus nous avons besoin de calcium. Selon certains experts (FAO, OMS), l'incidence des fractures de la hanche, qui sont une des conséquences les plus importantes de l'ostéoporose, est plus importante dans les pays occidentaux qui consomment de fortes quantités de calcium que dans les pays en développement qui en consomment peu. L'explication de ce paradoxe réside, en grande partie, dans une surconsommation de protéines animales acidifiantes, ce qui limite la fixation du calcium, et provoque un appel du calcium contenu dans la masse osseuse.

Pour la FAO, les populations occidentales doivent, compte tenu de leur régime alimentaire, consommer 840 mg de calcium par jour. Toutefois, la réduction de 40 g de l'apport de protéines animales peut ramener ce besoin en calcium à seulement 600 mg.

L'assiette Afterres2050

Notre assiette en 2050 est plus riche en céréales, fruits, légumes, fruits à coques (noix, amandes). Elle contient deux fois moins de lait et de viande.

La viande ne disparaît pas. Simplement, elle ne sera pas présente à tous les menus, tous les jours de la semaine, ou alors avec des portions plus réduites.

³⁵ Programme National Nutrition Santé

³⁶ T. Souccar, 2008 - « Lait, mensonge et propagande » ; Harvard School of Public Health

³⁷ Les races mixtes sont des races qui ont des qualités laitières mais aussi de bonnes aptitudes bouchères comme la Normande, la Montbéliarde, la Salers, l'Aubrac ou la Simmental.

g/j/personne (adulte équivalent)	2010	2030	2050
Céréales	330	395	424
Sucre	92	85	73
Fruits et légumes	546	652	703
Huiles	64	69	64
Légumineuses et fruits à coques	13	20	28
Boissons alcooliques	206	192	152
Viandes et abats	257	193	121
Lait	600	485	255
Pommes de terre	177	186	161
Œufs	33	26	17
Poissons et crustacés	78	35	8
Autres	29	26	15

Tableau 6 : Evolution de l'assiette Afterres d'ici à 2050.

Et les produits de la mer ?

Actuellement, chaque Français consomme chaque année un peu moins de 35 kg de produits « aquatiques » : crevettes, saumon, morue, thon... et coquillages dont les 2/3 sont importés. L'offre mondiale de poisson est estimée par la FAO à 17 kg/hab/an.

En mer, les prélèvements dépassent le seuil d'équilibre nécessaire au renouvellement d'un nombre croissant d'espèces. Selon l'Ifremer, à peine 22 % des stocks sont en bon « état » dans le Golfe de Gascogne et 18 % en Manche ouest. Ni la pisciculture marine ni la pêche professionnelle en rivière - elle aussi sinistrée - ne semblent à ce jour en capacité de prendre le relais. A quelle vitesse et comment nos ressources vont-elles se reconstituer dans les prochaines décennies ? Allons-nous devoir nous priver des bienfaits du poisson et les puiser dans d'autres aliments ?

La préservation de nos ressources halieutiques étant un enjeu majeur pour les générations futures, Afterres2050 fait le choix - par défaut - de réduire considérablement notre consommation de produits de la mer.

L'aquaculture pourrait offrir une alternative qu'Afterres2050 n'a pour le moment pas encore explorée. Avec notamment la question des types d'élevages piscicoles à privilégier, sachant qu'actuellement la majorité des poissons d'élevage sont des carnivores donc à un niveau supérieur de la chaîne trophique.

Une évolution alimentaire, sans rupture

L'alimentation touche à la santé, la culture, la tradition, l'éducation, la religion mais aussi au plaisir. D'où l'intérêt de s'appuyer sur ces différents leviers, de manière différenciée selon les publics, avec une attention particulière en direction des anciens, de plus en plus nombreux et particulièrement soucieux de leur santé et des jeunes, puisants « passeurs » de changement intergénérationnels. La lutte contre les gaspillages évitables et la surconsommation sont des enjeux récemment investis par les pouvoirs publics et les citoyens.

Le parlement européen a voté, en janvier 2012, une résolution³⁸ appelant à réduire de moitié le gaspillage alimentaire d'ici 2025, résolution dont on peut espérer qu'elle se transformera en directive, puis en loi française. En matière de régime alimentaire, plusieurs pays ont instauré une journée végétarienne par semaine qui

permet de communiquer sur les alternatives à la viande. Par exemple les villes de Gant (Belgique), de Sao Paulo (Brésil), San Francisco (Etats-Unis) et Paris (2^{ème} arrondissement), proposent des repas végétariens hebdomadaires en restauration scolaire. Des initiatives comparables sont prises par des traiteurs, des restaurants, preuve qu'une demande citoyenne est en train de se construire,...

Toutes ces initiatives mises bout à bout pourraient faire émerger une prise de conscience plus globale sur la nécessité d'engager un débat pluraliste sur la nutrition et la santé, débat qui pourrait conduire à faire émerger des réformes sur :

- l'enseignement de la diététique qui est aujourd'hui fortement influencé par les acteurs de l'agroalimentaire,
- les préconisations en matière d'apports nutritionnels conseillés.

Importations, exportations

Afterres2050 et les scénarios mondiaux

Pour raisonner sur les échanges internationaux, Afterres2050 s'appuie sur des travaux de prospective alimentaire et agriculture à l'échelle mondiale. Il se veut cohérent avec le scénario « AGRIMONDE 1 » établi par l'INRA et le CIRAD³⁹.

Deux versions du scénario AGRIMONDE, « Agricultures et alimentations du monde en 2050 : scénarios et défis pour un développement durable », ont été élaborées :

- Le scénario AGRIMONDE G0, lui-même issu du scénario Global Orchestration du Millenium Ecosystem Assessment⁴⁰, est un scénario de type tendanciel : il poursuit les tendances actuelles des régimes alimentaires, et se base sur l'intensification de l'agriculture conventionnelle. Ce scénario présente un certain nombre d'impasses, dont des conséquences environnementales qui, bien que non quantifiées, paraissent non soutenables.

- Le scénario AGRIMONDE 1 décrit une transition vers une demande alimentaire et une production agricole durables (par la « révolution doublement verte »).

Selon AGRIMONDE 1, la demande alimentaire mondiale augmente de 40 % d'ici 2050 (au lieu de 68 % dans AGRIMONDE G0), avec une stabilisation de la demande par habitant, y compris pour les produits d'origine animale (laitiers et animaux). Ce scénario met sur la table la nécessité d'une transition nutritionnelle et la question, jusqu'à présent taboue, de la maîtrise de la demande alimentaire.

³⁸ Résolution : <http://www.europarl.europa.eu/news/fr/pressroom/content/20120118IPR35648/html>

³⁹ INRA, CIRAD, 2009, Agrimonde. <http://www.paris.inra.fr/prospective/projets/agrimonde>. Voir également le bulletin d'analyse n°27 du Centre d'Etudes et de Prospective du ministère de l'agriculture, Février 2011, qui compare plusieurs scénarios alimentaires mondiaux au même horizon.

⁴⁰ www.millenniumassessment.org.

Les hypothèses adoptées dans Afterres2050

Les exportations sont réparties en 3 grandes régions Europe, espace méditerranéen (Maghreb, Proche et Moyen-Orient) et Afrique sub-saharienne et deux grands usages : alimentation humaine et alimentation animale. Nous avons considéré que les régimes alimentaires européens évolueront parallèlement à celui de la France et que les exportations vers l'Europe suivront l'évolution de la demande intérieure française (30 à 40 % de réduction sur l'alimentation animale).

Pour l'espace méditerranéen, les exportations suivront l'évolution démographique envisagée par l'ONU compte tenu des limites des systèmes agricoles de ces régions (+ 60 % d'exportation pour l'alimentation humaine). Pour l'Afrique sub-saharienne, c'est une diminution qui est envisagée car nous considérons que les agriculteurs africains peuvent - et doivent - nourrir leur continent. Les exportations globales de maïs grain (alimentation animale) sont réduites de moitié.

Base 100 en 2010	2050 Produits destinés à l'alimentation humaine	2050 Produits destinés à l'alimentation animale
Europe	90-100	50-70
Espace méditerranéen (Maghreb, Proche Orient)	160	100
Afrique sub-saharienne	50	
Maïs grain		50

Tableau 7 : Hypothèses en matière d'exportation

Une autre série d'hypothèses est effectuée sur les importations. Les importations de produits dont le solde net est aujourd'hui exportateur (céréales notamment) suivent la même évolution globalement que les exportations : c'est-à-dire que si les exportations de céréales diminuent, les importations diminuent parallèlement dans les mêmes proportions.

Pour les produits dont le solde est très déficitaire ou en totalité importés, comme les produits tropicaux, les fruits et légumes, les importations considérées dans Afterres2050 sont guidées par les évolutions de la demande intérieure et de la production, qui sont traitées comme des variables indépendantes.

Base 100 en 2010	Exemples	Evolution / 2010
Produits en solde excédentaire	Céréales, viande, lait	Proportionnelle à évolution des exportations
Produits en solde déficitaire	Produits tropicaux, fruits et légumes	Variable selon la demande et la production intérieure
Soja		0 - 10

Tableau 8 : Hypothèses en matière d'importation

Le solde exportateur net est en diminution pour la plupart des productions, notamment du fait de la diminution des exportations de « céréales fourragères » (grains destinés à l'alimentation du bétail) vers l'Europe, en raison de la diminution des cheptels. On notera la

forte diminution des importations de matières oléo-protéagineuses, avec la quasi-disparition des importations de tourteaux de soja, ainsi que la chute des importations de produits halieutiques.

Solde exportateur net, en milliers de tonnes de produits bruts	2010	2030	2050
Céréales et maïs	29 870	25 620	21 430
Produits laitiers	5 010	4 490	3 980
Sucre	3 070	2 910	2 750
Viande, abats, graisses animales	640	680	710
Boissons alcooliques	1 140	1 090	1 040
Tourteaux, huiles, oléo-protéagineux	-2 620	-870	850
Café, cacao, thé, épices, stimulants, sucre...	-640	-620	-370
Fruits et légumes	-6 700	-7 830	-7 740
Poissons et produits halieutiques	-1 240	-490	-100

Tableau 9 : Evolution du solde net des exportations

Les cultures

Quels systèmes agricoles dans Afterres2050 ?

Le **système** qualifie le choix d'organisation de la production agricole d'une exploitation : nature, nombre et articulation des productions végétales et animales dans l'espace (assolement) et dans le temps (rotation) en lien avec les stratégies socio-économiques d'autonomie pour l'alimentation des animaux, de commercialisation des productions, d'emplois... D'autres considérations complètent la notion de système agricole – la prise en compte par exemple des espaces naturels, le paysage... Il existe de nombreuses formes d'agriculture : du conventionnel à la permaculture en passant par l'agriculture de conservation ou l'agriculture raisonnée, il n'est pas facile de départager ce qui relève précisément de tel ou tel système. Même les formes d'agriculture qui relèvent d'un même cahier des charges strict présentent d'importantes variations d'une exploitation à une autre.

Certains systèmes agricoles décrivent des pratiques agronomiques, d'autres sont de nature socio-économiques. Le croisement d'un système agronomique et d'un système socio-économique décrit un système socio-technique. L'agriculture biologique par exemple est souvent associée à la notion d'agriculture paysanne, mais les deux concepts sont loin de se superposer intégralement.

En réalité, aucun système agricole n'a été conçu initialement pour répondre à l'ensemble des enjeux d'aujourd'hui, aucun ne présente toutes les qualités, et tous auront à évoluer.

Les **pratiques** sont relatives aux orientations techniques adoptées en matière de travail du sol, de niveaux d'intrants, de retour au sol de matières organiques...

La modélisation des cultures se base sur 3 systèmes agronomiques contrastés, dénommés ici par simplification (*voir définitions pages 22 et 23*) :

- « agriculture conventionnelle », avec des rendements élevés mais des consommations importantes de produits de synthèse pour la fertilisation et la protection des cultures ; l'agriculture conventionnelle représente la situation actuelle, elle évolue dans le scénario tendanciel vers l'agriculture « raisonnée » (10 % de la SAU en 2050) ;
- « agriculture biologique », caractérisée par une absence totale de produit de synthèse, au prix de rendements plus faibles (45 % de la SAU en 2050) ;
- « production intégrée », caractérisée par des rendements intermédiaires et un recours modéré aux produits de synthèse (45 % de la SAU en 2050).

Mixité des productions et allongement des rotations

La mixité des productions et l'allongement des rotations sont le cœur d'une stratégie d'optimisation de la photosynthèse et des ressources du sol (biodiversité, ressources minérales) dans le temps et dans l'espace.

Cette stratégie permet d'une part de réduire les apports d'intrants chimiques ou/et énergétiques et d'autre part de valoriser les ressources naturelles associées par la diminution :

- de la pression des adventices et donc des besoins de désherbage du fait d'une alternance entre graminées et dicotylédones, et de l'alternance des périodes de cultures...),
- de la pression parasitaire par diminution des maladies liées au sol,
- des besoins en engrais grâce à un recyclage plus efficace des éléments minéraux (en particulier K_2O mais aussi P_2O_5).

Aujourd'hui, un assolement typique en grande culture céréalière est constitué au 2/3 de céréales à pailles et 1/3 d'oléoprotéagineux, d'où une rotation sur 3 ans, parfois moins. Les assolements et rotations

des systèmes performants s'étalent sur 7 à 8 ans (donc 7 à 8 productions principales) et les légumineuses couvrent un tiers au moins de l'assolement.

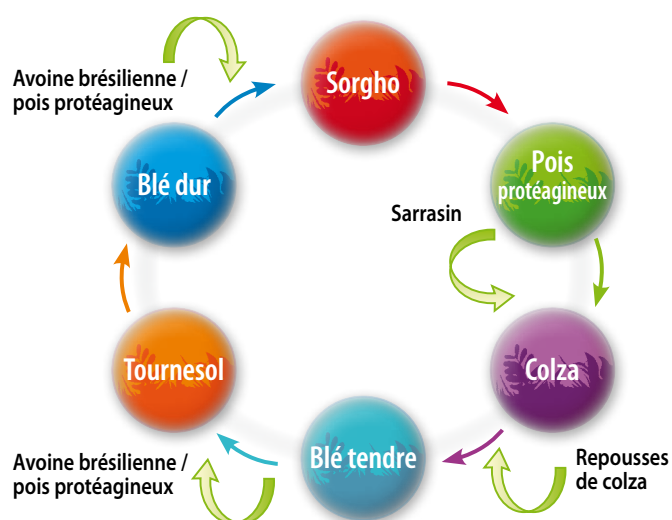


Figure 8 : Exemple de rotation longue avec cultures intermédiaires pratiqué dans le sud-ouest

Introduction massive de légumineuses et maîtrise de la fertilisation

L'azote est un élément clé de la productivité agricole. La stratégie commune aux agricultures performantes repose sur trois principes :

- L'introduction massive de légumineuses – pois, haricots, fèves, lentilles, soja, trèfle, lupin, luzerne, vesce, genêt, robinier... - en culture principale, associée, intermédiaire, ou encore arborée. Plantes fixatrices d'azote atmosphérique, elles représentaient la principale source d'azote pour les plantes cultivées avant l'arrivée des engrais azotés.

Associations de variétés

L'association de plusieurs variétés (de blé) au sein d'une même parcelle constitue une voie actuellement

Associations de cultures

D'une manière générale, les systèmes performants associent différentes cultures sur une même parcelle, dans le temps (cultures intermédiaires), sur une même surface (cultures associées), ou dans un plan vertical (agroforesterie).

En systèmes associés, le rendement de la culture principale est dégradé par rapport à une situation où elle occupe seule le temps et l'espace mais le rendement global de la parcelle est augmenté du fait :

- de l'optimisation de la photosynthèse : il y a toujours une plante en place (ou un arbre) pour capter du CO₂ et stocker du carbone,
- des synergies générées entre les productions qui favo-

- La couverture permanente du sol et le maintien de systèmes racinaires profonds, qui limitent la volatilisation ou le lessivage des matières azotées.
- La restitution intégrale de l'azote des résidus de culture, le recours à la fertilisation organique (engrais verts, déjections d'élevage, recyclage de biodéchets). Cette combinaison – fixation in situ de l'azote atmosphérique, apports d'engrais organiques, limitation des pertes – aboutit à une très forte diminution des besoins en azote de synthèse.

explorée pour consolider et stabiliser les rendements des cultures.

risent les transferts d'azote, de nutriments, la préservation de l'érosion, le recyclage des matières organiques dans les sols,

- de la réintroduction dans l'agrosystème de biodiversité ordinaire qui favorise, en lien avec la diversification des assolements, les mécanismes de régulation naturels des populations de ravageurs et de mauvaises herbes.

Traditionnellement utilisée par les polyculteurs-éleveurs sous forme de méteil (mélange de céréales et de légumineuses) consommé par les animaux, l'association de cultures comme blé dur-féverole est actuellement à l'essai.

Approche holistique des agrosystèmes : potentialiser les facteurs de production biologique et la fertilité des sols

Les systèmes les plus performants se caractérisent par une vision holistique : le tout et ses parties sont en interaction constante et dans laquelle le tout est supérieur à la somme de ses parties.

Ils se distinguent toutefois sur plusieurs aspects.

- **Les agricultures « biologiques »** privilégient les facteurs de production « biologiques » sur tout autre notamment le recours aux intrants biologiques (légumineuses, engrais organiques, lutte biologique), et excluent totalement l'utilisation des produits phytosanitaires ou des engrais de synthèse. Elles accordent une place importante aux infrastructures agroécologiques, qui favorisent la vie des auxiliaires biologiques, prédateurs des ravageurs de culture. La lutte contre les adventices (« mauvaises herbes ») constitue une difficulté, d'où la nécessité de recourir au labour ou bien au désherbage mécanique ou thermique, opérations coûteuses. L'allongement de la rotation avec notamment l'introduction de légumineuses fourragères comme la luzerne, constitue la voie privilégiée par les agriculteurs biologiques pour contrôler les adventices.

- **Les agricultures « intégrées »**, terme sous lequel on peut désigner les familles allant de l'agroécologie au sens du CIRAD à l'agriculture de conservation, privilégient le sol, considéré comme le facteur primordial. Elles pratiquent systématiquement le semis direct sous couvert, sans labour ou avec un travail superficiel du sol. Faute de débouchés spécifiques qui seraient liés à une visibilité pour le consommateur, comme c'est le cas avec l'agriculture biologique, les agricultures intégrées visent des rendements voisins de l'agriculture conventionnelle. D'où l'autorisation d'utilisation de facteurs de production « chimiques », utilisés en recours et non systématiquement :

- l'azote minéral pour ne pas limiter les rendements dans les situations de sous-fertilisation,
- des traitements phytosanitaires en dernier recours pour éviter les accidents sanitaires sur les parcelles et ne pas devoir labourer, faute de quoi c'est toute la stratégie de long terme de construction d'un sol vivant, structuré et riche en matière organique, qui est compromise.

A quoi ressemble une parcelle compatible Afterres2050 ?

La parcelle Afterres2050 est complexe et d'une grande polyvalence.

La culture principale (blé ou autre) est systématiquement accompagnée. Elle partage l'espace soit avec des arbres, soit avec des cultures associées, soit avec des cultures intermédiaires. Elle n'est jamais nue. La terre est toujours verte, ou pour le moins couverte. Le mélange des variétés est généralisé.

Au lieu des deux productions du standard agricole actuel - une graine et de la paille - une parcelle peut délivrer virtuellement une gamme élargie de productions :

- grain de la culture principale (par exemple le blé),
- grain de culture associée (par exemple le pois),
- un résidu de culture qui sera partiellement recyclé ou retourné au sol,
- du fourrage ou de la biomasse énergie dérivés de la récolte des couverts végétaux non récoltés en grains,
- du bois d'œuvre, du bois énergie et/ou des fruits issus des alignements agroforestiers (noyers par exemple) ou des haies.

De plus,

- les **couverts** entre deux cultures – cultures intermédiaires – sont systématiquement déployés sur les parcelles où les contraintes hydriques ne sont pas rédhibitoires ;
- les **cultures associées** occupent 20 % des terres arables ; elles sont basées sur des associations céréales / légumineuses, particulièrement efficaces dans des systèmes à bas niveaux d'intrants. Le mélange peut être trié pour être commercialisé séparément ;
- l'**agroforesterie** se développe fortement mais à « basse densité ». A raison de 50 arbres par hectare, pour une emprise au sol de 12 %, cette densité ne minore pas le rendement de la culture intercalaire.

L'agroforesterie couvre, en 2050, 10 % de la surface agricole utile (soit 3 millions d'hectares) ;

- 5 % de la SAU sont réservés aux **infrastructures agroécologiques** arborées (contre 1,7 % aujourd'hui) notamment les haies. Le linéaire de haies aura ainsi doublé en 2050 pour atteindre 1,5 million de km.

A l'échelle du paysage (ou du bassin versant), ce type de parcelle et ses aménagements (associés à des zones tampons), permet de réduire les risques d'érosion, de diminuer les transferts de polluant vers l'eau et de répartir de façon homogène les infrastructures agroécologiques.

L'ensemble de ces surfaces se partage à part égale entre « agriculture biologique » et « production intégrée », 10 % restant en système « raisonné ».

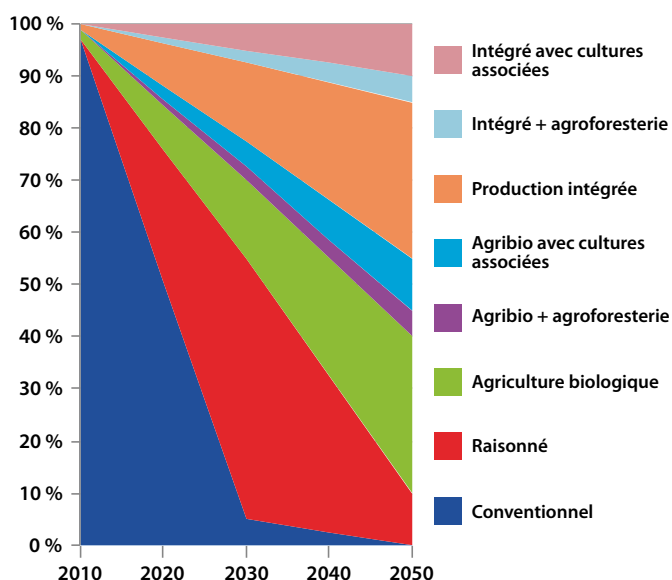


Figure 9 : Evolution des différents types de production

La scénarisation des rendements

Pour 2050, les rendements de référence des principales cultures sont issus du projet Climator⁴¹ qui a étudié entre autres, les effets du changement climatique sur les cultures. Nous avons toutefois appliqué un facteur de réserve compte tenu des difficultés à généraliser les résultats du projet à l'ensemble du territoire.

Nous avons donc appliqué aux rendements de référence des cultures prévus en 2050 par « Climator » des coefficients de pondération :

- une baisse de 30 % des rendements « Climator » de l'agriculture biologique,
- une baisse de 10 % des rendements « Climator » de la production intégrée.

Prenons l'exemple du blé : entre 1960 et 1985, le rendement a progressé de près de 1,5 quintal par an.

Entre 1985 et 2010, la progression n'est plus que de 0,5 quintal par an.

En 2050, le projet Climator donne comme valeur repère une progression de 0,25 quintal par an (augmentation de 10 quintaux en moyenne entre le présent et le futur principalement en raison de l'accroissement du CO₂ – valeur moyenne masquant de grandes disparités entre les sites d'études du nord au sud de la France).

Dans Afterres2050, cette progression potentielle des rendements est contrebalancée par la progression de l'agriculture biologique et de la production intégrée, qui offrent des rendements en blé moindre. Globalement, le rendement du blé tendre diminue et arrive à 53 quintaux par hectare en 2050.

⁴¹ http://www.avignon.inra.fr/projet_climitor

	2010	2030	2050
Répartition			
"Conventionnel"	97%	55%	10%
"Biologique"	2%	23%	45%
"Intégré"	1%	23%	45%
Rendement blé tendre (t/hectare)			
"Conventionnel"	7,0	7,3	7,6
"Biologique"	3,5	3,2	4,0
"Intégré"	6,3	5,8	6,1
Rendement moyen pondéré	6,9	6,0	5,3
Coefficient de Rendement Equivalent			
"Conventionnel"	1	1	1
"Biologique"	0,83	0,91	1,00
"Intégré"	1,23	1,31	1,31
CRE global	1,00	1,05	1,14

Tableau 10 : Evolution des rendements du blé selon les systèmes de culture

Malgré tout, le rendement global de la parcelle de blé, Coefficient de Rendement Equivalent (CRE), augmente du fait des productions associées. Le CRE est ici calculé sur la base du rendement en « conventionnel » pour l'année considérée, il permet de comparer les systèmes

agricoles entre eux. En 2050, le CRE global est de 1,14. Le CRE en « biologique » est équivalent à celui du « conventionnel », tandis que celui de l'agriculture « intégrée » lui est supérieur de 31 %.

CRE (Coefficient de Rendement Equivalent) ou **LER** (Land Equivalent Ratio) : pour comparer la performance de l'association à celle des mêmes espèces cultivées séparément, on utilise le LER défini comme la surface relative nécessaire en culture pure pour avoir la même production que l'association. Un LER supérieur à 1 indique que l'association est plus performante que les cultures pures. Un LER de 1,2 par exemple signifie que pour obtenir la même quantité en cultures pures, il faudrait 20 % de surface en plus.

Les élevages

Intensif, extensif ? Monogastriques, ruminants ? Herbe ou grains ?

Concilier performance alimentaire, lutte contre les émissions de gaz à effet de serre et bien-être animal

Les « performances alimentaires » des animaux d'élevage se mesurent par un paramètre principal qui est le rapport entre les aliments ingérés et la production. On parle d'indice de consommation pour exprimer la quantité de viande produite par quantité de grain consommée par exemple, ou encore de ration en fourrage ou en concentré par litre de lait produit.

Plus cet indice est faible, plus l'animal « valorise » bien les aliments ingérés. Certains aliments, comme les grains, sont très digestibles, tandis que d'autres, comme l'herbe ou les fourrages, ne peuvent nourrir que les ruminants qui possèdent un système digestif capable de décomposer la cellulose.

Le troupeau bovin français actuel est nourri avec 72

millions de tonnes d'herbe, fourrage et grain (en matière sèche) et il produit 25 millions de tonnes de lait et 1,5 million de tonnes de viande (poids carcasse).

Les monogastriques (porcs, volailles) de leur côté ingèrent 18 millions de tonnes d'aliments et fournissent 5 millions de tonnes de viande et 1 million de tonnes d'œufs. Le bilan énergétique des monogastriques est meilleur que celui des ruminants : il faut moins d'aliments végétaux pour une même quantité de viande, et par conséquent il faut également moins d'espace. Il en est de même pour le bilan en gaz à effet de serre : les fermentations entériques, qui représentent le principal poste d'émission de méthane en France, sont principalement dues aux ruminants.

De la viande blanche pour lutter contre le changement climatique ?

La « viande blanche » n'offre cependant pas que des avantages. Les monogastriques sont très majoritaire-

ment produits en élevages intensifs, espaces où les animaux sont élevés en batterie de manière extrême-

ment concentrée, dans des conditions éloignées du bien-être animal.

Les élevages qui reposent sur ce modèle sont basés par ailleurs sur l'importation d'aliments, sans lien au sol - d'où les problèmes d'excédents d'azote et phosphore dans les régions d'élevage intensif - sur l'utilisation massive de substances pharmaceutiques, et selon un modèle économique fragile soumis à une forte concurrence internationale.

A l'inverse, nos vaches sont encore en grande partie élevées à l'herbe. Certes, les élevages en bovin lait consomment des grains et des tourteaux, et les veaux sont engraisés au grain, parfois en les envoyant jusqu'en Italie. Mais à la différence des feed-lot (les parcs d'engraissement) américains par exemple, les bovins français passent la moitié de leur temps sur prairie - un peu plus pour les bovins viande et un peu moins pour les bovins lait.

Or, les prairies offrent par ailleurs des fonctions essentielles : biodiversité, puits de carbone, protection

Quels arbitrages au regard des défis actuels ?

En résumé, du point de vue de l'utilisation des ressources naturelles et du changement climatique, ruminants et monogastriques possèdent chacun une série d'avantages et inconvénients, et les arbitrages entre ces deux grandes catégories d'animaux doivent tenir compte de critères contradictoires.

Dans tous les cas, les systèmes d'élevage devront tenir compte de plusieurs phénomènes nouveaux.

Tout d'abord, la rareté des ressources naturelles imposera la recherche de la meilleure efficacité et favorisera donc les plus faibles indices de consommation. Autrefois (avant la généralisation du tracteur et des engrais), la fonction première des animaux d'élevage n'était pas de produire de la viande, mais de fournir de la force motrice (boeufs et chevaux de trait), du lait et des œufs et d'assurer le transfert de fertilité des prairies de fauche vers les terres cultivées via le fumier. Poules et cochons étaient des animaux de basse-cour nourris avec les déchets de

contre l'érosion, paysage... L'ensemble des prairies naturelles, y compris les prairies peu productives et les pelouses d'altitude, stockent 8,5 millions de tonnes équivalent-CO₂ par an, ce qui compense en partie les 34 millions de tonnes équivalent CO₂ de méthane entérique généré par les ruminants. Enfin, les prairies naturelles extensives sont le plus souvent la seule valorisation agricole possible du fait que les terrains où elles sont situées ne sont pas labourables. La forêt est souvent la seule alternative.

Par ailleurs, les monogastriques consomment des grains et entrent ainsi directement en compétition avec l'alimentation humaine. Une compétition bien plus rude que celle qu'exerce l'industrie des biocarburants par exemple, puisque ce sont près de 50 % des céréales et oléo-protéagineux consommés en France qui servent à nourrir les animaux. A l'inverse, les ruminants permettent d'exploiter les prairies naturelles, sans concurrence avec l'alimentation humaine.

cuisine et le petit-lait, et le grain n'était distribué qu'avec parcimonie. Les « bovins viande » sont issus des races de boeufs de labour.

Aujourd'hui, le grain est abondant et bon marché ; il est en grande majorité utilisé pour nourrir les animaux « monogastriques » (porcs et volailles), mais aussi les ruminants. Les vastes surfaces de prairies qui permettaient de disposer d'énergie mécanique sont aujourd'hui exploitées pour produire de la viande. Du seul point de vue de l'utilisation de l'espace, cet usage très extensif des prairies est-il vraiment durable ?

A l'inverse, les questions de santé publique, de bien-être animal, favorisent au contraire les productions de qualité, avec notamment un allongement de la durée d'élevage et, corollairement, une augmentation de l'indice de consommation (et de la part de l'herbe dans les rations fourragères des ruminants).

Porcs et volailles

Le scénario Afterres2050 propose de passer d'un système actuel où l'élevage intensif en porcs et volailles représente la quasi-totalité de la produc-

tion, à un système où les élevages sous label qualité représentent la moitié des effectifs, la moitié restante demeurant dans le système actuel.

		Poulets de chair		Porcs	
		« Intensif »	« Label »	« Intensif »	« Label »
Durée d'élevage	Jours	40	95	130	365
Poids vif à l'abattage	kg	1,9	2,4	110	150
Indice de Consommation (IC)		1,9	3,5	2,9	4,6

Tableau 11 : Caractéristiques des systèmes d'élevage : les volailles et les porcs

Le nombre de porcs passe de 8 millions actuellement, presque en totalité en intensif, à 5 millions en 2050, dont 2,5 millions en intensif soit une division par 3 des

élevages intensifs. Cette évolution est similaire pour les volailles.

		2010	2030	2050
Porcs				
Cheptel présent	Milliers (places de porcs à l'engraissement ⁴²)	8.400	7.300	5.500
(dont « intensif »)	Milliers	8.200	5.500	2.700
(dont « label »)	Milliers	200	1.800	2.700
Production de viande	Milliers de tonnes (carcasse)	2.000	1.600	1.000
Consommation d'aliments	Millions de tonnes	10,7	10,0	7,4
Volaille				
Cheptel présent	Milliers (places de poulets de chair)	160.000	145.000	120.000
(dont « intensif »)	Milliers	140.000	100.000	60.000
(dont « label »)	Milliers	20.000	45.000	60.000
Production de viande	Milliers de tonnes (carcasse)	1.800	1.600	1.200
Production d'œufs	Milliers de tonnes	970	770	490
Consommation d'aliments	Millions de tonnes	7,8	7,6	6,4

Tableau 12 : Evolution des cheptels de porcs et volailles

Ruminants

L'élevage bovin est généralement classé en deux catégories, « bovin lait » et « bovin viande ».

Les « bovins lait »

Une vache laitière produit aujourd'hui en moyenne 6 500 l de lait par an. Les plus productives dépassent les 10 000 l : elles sont dans ce cas nourries surtout aux concentrés et au maïs ensilage, pâturent peu, et font l'objet de sélections génétiques poussées. A l'inverse, des races rustiques capables de valoriser des espaces plus difficiles comme les prairies d'altitude, produisent 5 000 l de lait, voire moins.

Une grande partie de la production de lait est assurée par des élevages « standardisés » (en Bretagne et Normandie principalement) et produisant entre 6 000 et 7 000 l de lait par an consommant entre 180 et 220 g de concentrés

par litre de lait et pâturent moins de 40 % du temps.

Le scénario propose une évolution générale vers des systèmes moins intensifs⁴³. La laitière à 9 000 l disparaît, tandis qu'à l'inverse, les systèmes extensifs le deviennent encore plus, avec un cheptel « tout herbe » qui prendrait une part significative en 2050 (le quart des effectifs), aux cotés de systèmes assez proches des systèmes actuels à la fois performants (7 000 l) et économes (moindre consommation de concentrés).

Les caractéristiques zootechniques du troupeau laitier « moyen » évoluent comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Caractéristiques du troupeau laitier		2010	2030	2050
Production de lait	Litre / vache	6.500	5.900	5.900
Consommation de concentrés	g/litre de lait	182	136	79
Temps de pâturage		37 %	44 %	47 %
Ration fourragère	Tonnes de matière sèche par vache et par an	6,0	5,4	5,4

Tableau 13 : Caractéristiques du troupeau laitier

La division par 2 des besoins en lait conduit à une diminution en proportion du cheptel de vaches laitières, qui passe de 3,6 millions de têtes à 1,9 million. Les besoins en fourrage et en concentré diminuent plus fortement que la quantité d'herbe pâturée puisque la proportion en pâture augmente. Malgré tout, la réorientation du troupeau laitier vers la prairie ne

permet pas de compenser la diminution du cheptel. La production de viande associée passe de 730 000 à 370 000 tonnes.

⁴² Chaque place représente entre 1 et 3 animaux produits par an, selon la durée de présence.

⁴³ Ces systèmes seraient en cohérence avec les cahiers des charges de nombreuses AOC fromagères, basées sur une plus grande autonomie et une part plus importante d'herbe dans la ration.

		2010	2030	2050
Caractéristiques du troupeau laitier				
Demande production lait	Millions de tonnes	25	21	12
Cheptel présent (mères)	Millions de têtes	3,6	3,3	1,9
Production de viande (ensemble du troupeau)	Millions de tonnes (carcasse)	0,73	0,64	0,37
Alimentation du troupeau laitier				
Fourrages	Millions de tonnes (matière sèche)	22	18	11
Herbe pâturée	Millions de tonnes (matière sèche)	12	12	7
Concentrés	Millions de tonnes	8	6	3

Tableau 14 : Evolution de l'alimentation des troupeaux laitiers

Les « bovins viande »

Les troupeaux bovin viande sont aujourd'hui assez extensifs, avec un recours au pâturage important : globalement près des deux tiers du temps. Nos systèmes bovin viande sont aujourd'hui les plus aptes à valoriser, et donc à préserver, les prairies naturelles.

Les systèmes bovin viande tels que nous les connaissons aujourd'hui sont appelés à une mutation radicale.

Le dimensionnement des deux troupeaux, laitier et viande, résulte de deux facteurs principaux. Comme on vient de le voir, les besoins en production de lait déterminent la taille du troupeau laitier, en divisant la demande de production globale (milliards de litres de lait par an) avec la productivité (litres de lait par vache).

Le cheptel bovin viande quant à lui n'est pas dimensionné uniquement sur les besoins de production de viande bovine, car il faut en effet tenir compte de la viande produite par le troupeau bovin lait : veau de boucherie et vache de réforme. Le cheptel bovin viande est donc dimensionné par différence entre les besoins de viande bovine, et la production de viande du troupeau laitier.

Or, l'évolution des différents systèmes d'élevage d'une part et des consommations de lait et viande d'autre part, laisse au final peu de place aux systèmes bovin viande. Le besoin de viande bovine passe de 1,6 million de tonnes à 500 000 tonnes. Les calculs aboutiraient à une division par 6 du troupeau actuel bovin viande.



Production viande bovine		2010	2030	2050
Besoin de production viande bovine	Millions de tonnes (carcasse)	1,56	1,05	0,50
Production viande du troupeau laitier	Millions de tonnes (carcasse)	0,73	0,64	0,37
Différence	Millions de tonnes	0,84	0,41	0,13

Tableau 15 : Evolution de la production de viande

D'où l'apparition dans le scénario de « races mixtes » produisant à la fois du lait et de la viande. Il s'agit finalement des systèmes d'élevage bovins qui existaient jusque dans les années 1950, lorsque les bovins fournissaient en priorité de l'énergie (traction animale), le lait n'arrivant qu'en seconde priorité dans les services rendus par les bovins, et la viande en troisième place. Les « races à viande » - qui dérivent pour l'essentiel

des races de labour - n'auraient donc finalement été qu'une parenthèse historique. L'élevage bovin évoluerait donc vers des races mixtes, mettant fin à la dichotomie entre troupeau laitier et troupeau viande. Sa répartition géographique serait profondément bouleversée, la question centrale étant l'équilibre entre les grandes régions laitières de l'Ouest et les zones d'élevage de montagne.

Résumé des principales caractéristiques du troupeau bovin		2010	2030	2050
Cheptel présent (vaches allaitantes et vaches laitières)	Milliers	8.000	5.400	2.600
Production de viande (carcasse)	Milliers de tonnes	1560	1050	500
Production de lait	Milliers de tonnes	24.000	19.600	11.200
Consommation d'herbe pâturée	Millions de tonnes	25	18	9
Consommation de fourrages	Millions de tonnes	35	25	13
Consommation de concentrés	Millions de tonnes	12	8	3
Emissions de méthane entérique	Millions de tonnes éq. CO ₂	34	25	14

Tableau 16 : Evolution du cheptel bovin

Les émissions de méthane entérique seront divisées par 3, essentiellement grâce à cette diminution du cheptel, et secondairement en agissant sur les pistes de recherche actuellement explorées : génétique, rations alimentaires, vaccination (inhibition des bactéries méthanogènes). Ces pistes permettront, toutes choses égales par ailleurs, de réduire la fermentation entérique de 10 à 20 % selon la conduite du troupeau, hypothèse retenue par Afterres2050.

Ovins, caprins

Le troupeau caprin restera inchangé : il s'agit d'élevages en général assez intensifs, avec peu de pâture, destiné essentiellement à la production de lait.

Le troupeau ovien quant à lui a vocation à augmenter. Actuellement la viande ovine est en grande partie

Le maintien des prairies naturelles, avec en parallèle une diminution de la pâture, est actuellement l'un des principaux points de débat du scénario Afterres2050. Plusieurs idées sont aujourd'hui examinées autour d'objectifs imbriqués : garder des élevages bovins qui soient économiquement viables en inventant de nouvelles filières de production associées (énergie, matériaux) et maintenir les fonctionnalités écologiques des prairies naturelles.

importée. Or, les ovins permettent de valoriser estives et parcours, qui sont des espaces peu productifs comme les alpages, pelouses d'altitude, causses, mais également des espaces de surfaces insuffisantes pour les bovins. Le cheptel ovien augmenterait de 50 % d'ici 2050.

		2010	2030	2050
Production				
Production de viande	Milliers de tonnes	5.800	4.500	2.900
Production de lait	Milliers de tonnes	25.000	21.000	12.000
Production d'œufs	Milliers de tonnes	1.000	800	500
Consommation d'aliments				
Consommation d'herbe pâturée	Millions de tonnes	31	25	16
Consommation de fourrages	Millions de tonnes	41	30	16
Consommation de concentrés	Millions de tonnes	33	29	21

Tableau 17 : Productions animales et consommation d'aliments

Repenser l'élevage

L'élevage en France produirait au final environ 2 fois moins de produits qu'aujourd'hui, et logiquement consommerait 2 fois moins d'aliments. Il s'agit de l'un des points les plus discutés du scénario Afterres2050.

Il demeure que :

- La diminution des cheptels ne veut pas dire abandon de l'élevage. Il n'y a pas de corrélation étroite entre le nombre d'emplois et le nombre d'animaux, sinon l'élevage en France aurait créé de nombreux emplois au cours des décennies passées, or c'est l'inverse qui s'est produit.
- La diminution de la pâture ne signifie pas non plus abandon des prairies. Il s'agit de trouver de nouvelles vocations aux prairies, et d'inventer des systèmes socio-techniques qui permettent aux élevages bovins d'aujourd'hui d'évoluer vers de nouvelles formes de production.

Parmi les évolutions majeures, on notera l'évolution du système maïs-soja vers des systèmes herbagers, basés notamment sur des légumineuses pérennes comme la luzerne.

D'où la possibilité de réduire considérablement d'une part les importations de soja et, d'autre part, les surfaces de maïs fourrager, dont la forte productivité ne compense pas suffisamment les inconvénients dus à son cycle végétatif (forts besoins d'eau en été, faible compatibilité avec des cultures intercalaires).



© EDE - 81

Utilisation des terres

Les productions végétales agricoles

Le bilan d'approvisionnement permet de calculer les besoins de production en additionnant la demande intérieure (alimentation humaine, alimentation animale, autres usages) et le solde exportateur.

Les principales productions sont récapitulées dans le tableau suivant.

Productions, milliers de tonnes ⁴⁴	1990	2010	2030	2050
Blé tendre	31 400	36 800	35 500	31 300
Orge	10 000	10 500	8 800	6 600
Blé dur et riz	2 100	2 200	2 200	2 000
Autres céréales	2 000	3 000	2 600	1 800
Oléo-protéagineux	8 500	8 400	8 000	7 400
Maïs grain	9 400	15 300	12 300	8 200
Production de cultures associées		0	1 680	3 540
Production de cultures intermédiaires		0	9 700	16 400
SOUS TOTAL GRAINS	63 300	76 100	78 900	77 200
Maïs fourrage	13 200	16 700	9 200	1 800
Prairies temporaires légumineuses	14 200	17 900	17 100	14 700
Prairies temporaires graminées	4 100	4 100	2 700	1 700
Autres cultures fourragères	4 500	1 900	800	200
<i>Nouvelles cultures annuelles à usage non alimentaire</i>		0	0	3 800
SOUS TOTAL FOURRAGES	36 000	40 600	29 800	22 600
Prairies naturelles permanentes productives	37 800	38 300	29 000	16 900
Prairies peu productives	3 100	3 300	3 100	3 100
<i>Fourrages à usage non alimentaire</i>		0	2 600	18 400
SOUS TOTAL PRAIRIES	40 900	41 700	34 700	38 400
Légumes	7 300	7 000	7 200	8 600
Betteraves	31 700	31 800	31 800	29 000
Pomme de terre	3 300	6 900	7 200	6 400
Autres cultures industrielles	500	700	900	1 000
Vigne	8 100	7 400	7 300	6 600
Vergers	2 900	4 000	4 100	4 200
Production de cultures intermédiaires		0	800	1 600
CULTURES INDUSTRIELLES OU PERMANENTES	53 800	57 700	59 300	57 500
TOTAL	194 000	216 000	200 000	191 000
VALEUR ENERGETIQUE TOTALE (PJ)	2 620	2 960	2 650	2 500

Tableau 18 : Evolution des principales productions végétales d'ici à 2050

Les données sont exprimées en tonnes brutes (y compris les betteraves et pommes de terre), sauf pour les prairies et cultures fourragères, dont la production est indiquée en tonnes de matières sèches. Le niveau de production est en diminution de 12 % par rapport à aujourd'hui. La valeur énergétique de la production agricole primaire, exprimée en Pétajoule (PJ), passe de près de 3 000 PJ aujourd'hui (l'équivalent de 70 millions de tonnes de pétrole) à 2 500 en 2050 (équivalent à 60 millions de tonnes de pétrole).

Ces valeurs incluent la production de cultures associées et de cultures intermédiaires en complément des cultures principales.

Elles incluent également de « nouvelles cultures annuelles à usage non alimentaire », ainsi que des « fourrages à usage non alimentaire », notion qui sera explicitée plus loin.

⁴⁴ Les valeurs sont arrondies

Les surfaces agricoles

Compte tenu de l'évolution des rendements, les surfaces agricoles passent de 29 millions d'hectares aujourd'hui à 28 millions en 2050. Rappelons que la SAU représentait près de 33 millions d'hectares en 1970 et qu'elle a donc diminué depuis de 4 millions d'hectares, soit en moyenne de 90 000 hectares par an. Cette évolution est à comparer avec la diminution de 37 000 hectares par an dans le

scénario Afterres2050. Les évolutions combinées de la demande et des rendements permettent d'envisager, à partir des années 2030, de nouvelles utilisations non alimentaires des cultures sur terres arables. Un peu moins d'un million d'hectares serait disponible en 2050, principalement par reconversion des cultures fourragères.

Surfaces, en milliers d'hectares	1990	2010	2030	2050
Blé tendre	4 700	5 100	5 800	5 800
Orge	1 800	1 600	1 700	1 500
Blé dur et riz	400	400	500	500
Autres céréales	500	600	600	500
Oléo-protéagineux	2 700	2 500	2 800	2 800
Maïs grain	1 600	1 700	1 500	1 000
SOUS TOTAL GRAINS	11 700	11 900	12 900	12 100
Maïs fourrage	1 800	1 400	900	200
Prairies temporaires légumineuses	2 400	2 700	2 600	2 300
Prairies temporaires graminées	800	700	600	400
Autres cultures fourragères	200	100	0	0
Nouvelles cultures annuelles à usage non alimentaire				700
SOUS TOTAL FOURRAGES	5 200	4 900	4 100	4 300
Prairies naturelles permanentes productives	8 600	7 300	6 500	7 000
Prairies peu productives	2 800	2 500	2 400	2 400
SOUS TOTAL PRAIRIES	11 400	9 800	8 900	9 400
Légumes	340	280	350	450
Betteraves	500	400	500	400
Pomme de terre	200	200	300	300
Autres cultures industrielles	100	100	100	100
Vigne	900	1 000	1 000	950
Vergers	170	220	250	300
CULTURES INDUSTRIELLES OU PERMANENTES	2 200	2 200	2 500	2 500
TOTAL	30 500	29 100	28 400	27 600

Tableau 19 : Evolution des surfaces pour les principales cultures et prairies

De nouveaux systèmes agropastoraux

Le scénario Afterres2050 propose de combiner les systèmes d'élevage bovin avec de la production d'énergie via la méthanisation. Il vise à conserver les prairies naturelles, réserves de biodiversité, dont la palette de valorisations envisageables est bien plus étroite que celle des terres arables. Le scénario s'interdit de labourer ces prairies, il cherche à maintenir voire à augmenter leur valeur écologique, paysagère et sociale. Le foin récoltable sur les prairies de fauche est en partie utilisé en alimentation du bétail, et en partie utilisé en méthanisation. Il peut s'agir de prairies dédiées ou de fauches tardives.

Le retour du digestat maintient la fonction de transfert de fertilité depuis les prairies riches en légumineuses vers les terres arables, en complément de la fumure organique apportée par les élevages. Il faut souligner ici que les animaux ne « produisent » pas d'azote, la production primaire d'azote est uniquement due aux légumineuses et aux engrais azotés.

On renoue ainsi avec la vocation de production de force motrice autrefois dévolue aux prairies – plus qu'aux terres arables – avec les chevaux et les boeufs, tout en conservant les fonctions agroécologiques des prairies, et sans pour autant revenir à la trac-

tion animale. Une autre solution consiste à imaginer de nouveaux usages des cultures herbacées. C'est le concept de « bioraffinerie verte », sur lequel travaillent déjà des laboratoires et des industriels. Il s'agit d'une variante de la bioraffinerie, qui consiste à utiliser des matières végétales pour en extraire différents composants destinés à remplacer les dérivés de la pétrochimie. Les matières végétales sont fractionnées, séparées, filtrées, avant de subir des transformations

chimiques, biologiques ou physiques plus ou moins complexes et de fournir soit des composés chimiques de base - acides organiques, polymères, alcools, résines... - soit des matériaux - fibre, papier, film... Il s'agit bien encore d'agriculture, comme celle qui fournissait et fournit encore aux industries des matières textiles (laine, lin, chanvre), des plantes tinctoriales ou pharmaceutiques.

De nouvelles affectations à imaginer

Il reste une production inutilisée d'herbe sur prairies naturelles productive de l'ordre de 10 millions de tonnes de matières sèches, ce qui correspond à 20 % de la production totale, ou encore à l'équivalent de 2 millions d'hectares de prairies.

Plusieurs pistes sont envisageables, consistant soit à utiliser cette production d'herbe pour des usages classiques ou non, soit à modifier l'usage des ces surfaces :

- Boiser : l'une des solutions simples serait celle du boisement. C'est également une solution « tendancielle », les terres les plus pauvres et les moins accessibles sont progressivement laissées en friche puis évoluent vers la forêt. Les territoires boisés le seraient encore plus, ce qui n'augmenterait sans doute guère la biodiversité naturelle.
- Exporter : le scénario d'exportation peut être révisé dans le sens d'une augmentation des exportations de viande et de lait en poudre pour accompagner la demande mondiale.

- Diversifier : la production de biogaz constitue une première solution de diversification, cohérente avec les activités d'élevage ; d'autres solutions sont envisageables, comme la production de matériaux d'isolation ou la fourniture de matière pour la chimie biosourcée.
- Extensifier : la marge de manœuvre dégagée peut permettre d'extensifier encore plus le système agricole, d'augmenter par exemple la part d'agriculture biologique. Cette hypothèse est cependant limitée par le fait que terres arables et prairies ne sont pas interchangeables si facilement, et une réduction supplémentaire des rendements sur terres arables se traduirait, toutes choses égales par ailleurs, par la mise en culture des prairies.
- Créer de nouveaux espaces naturels : le scénario Afterres2050 fait une large place aux infrastructures agroécologiques, insérées dans le tissu agropastoral. On peut néanmoins envisager de créer des espaces naturels de grande superficie.

Les surfaces non agricoles

Le tableau ci-dessous présente l'évolution des principales catégories de surface.

Milliers d'hectares	1990	2010	2030	2050
Surfaces artificialisées	3 700	5 100	5 900	6 400
Forêts	15 400	16 000	16 400	16 700
Terres cultivées	19 400	19 800	19 600	18 300
Prairies naturelles permanentes	11 200	9 600	8 700	9 600
Autres surfaces	5 200 ⁴⁵	4 600	4 300	4 000
TOTAL	54 900	54 900	54 900	54 900

Tableau 20 : Evolution des surfaces

L'évolution des surfaces agricoles a été présentée précédemment. Les « terres cultivées » (incluant ici les terres arables : grains, cultures fourragères, cultures permanentes, cultures industrielles, ainsi que les jachères et jardins familiaux) sont en légère diminution, tandis que les prairies permanentes restent stables. Cette évolution se fait au profit des surfaces artificialisées et de la forêt.

Les surfaces artificialisées ont augmenté de 74 000

hectares par an en moyenne entre 1970 et 2010. Le scénario Afterres2050 fait l'hypothèse d'une diminution de ce phénomène d'artificialisation, qui passerait à 33 000 hectares par an en moyenne jusqu'en 2050. Ce qui aboutit tout de même à artificialiser 1,4 million d'hectares supplémentaires.

⁴⁵ Friches et landes, surfaces en eau, rochers.

La catégorie « autres surfaces » est une agrégation d'éléments divers : elle comprend les friches, landes, garrigues, marais, pelouses d'altitudes, étangs, lacs, rivières, rochers, plages. Elle englobe le Territoire Agricole Non Cultivé (TANC). Ces surfaces évoluent peu, elles sont tendanciellement à la baisse, du fait de la transformation progressive des friches et landes en forêt, phénomène qui est lui-même issu en partie de la déprise agricole passée.

La surface forestière est la résultante des évolutions

décrites précédemment. La forêt progresse par évolution spontanée des landes et friches, et grâce à la diminution de la pression exercée par la progression de l'artificialisation et de l'agriculture. Après avoir progressé en moyenne de plus de 40 000 hectares par an, la surface de la forêt française semble aujourd'hui stagner.

Le scénario Afterres2050 permet de retrouver une progression de la surface forestière, d'environ 20 000 hectares par an.



La forêt

Le scénario Afterres2050 repose sur le développement d'une sylviculture à la fois productive et durable, comme pour l'agriculture. La fonction économique de la forêt devra être accrue tout en améliorant ses fonctions écologiques, paysagères et sociales.

La forêt française en quelques chiffres

Les statistiques sur la forêt française sont produites principalement par l'IGN, qui réalise régulièrement un inventaire national. Les modes de calcul ont été profondément révisés en 2011, conduisant à une remise en cause de nombreuses données statistiques⁴⁶. Il est nécessaire de revenir sur ces questions qui sont au cœur des controverses sur le rôle productif de la forêt.

La surface forestière française a sensiblement augmenté depuis le milieu du XIX^e Siècle et continue à croître, même si cette évolution semble se ralentir nettement ces toutes dernières années. La forêt a gagné sur les surfaces

agricoles et sur les friches et landes, également générés en partie par la déprise agricole depuis les années 1950. Les statistiques utilisées ici concernent la forêt dite « de production », incluant les peupleraies, mais excluant les forêts protégées, soit une surface actuelle de 15,4 millions d'hectares.

Le bois est généralement comptabilisé dans les statistiques en « bois fort tige ». Pour obtenir le bois total, c'est-à-dire la biomasse ligno-cellulosique aérienne, non compris les feuilles et les racines (voir encadré), on tient compte de coefficients appelés « facteurs d'expansion ».

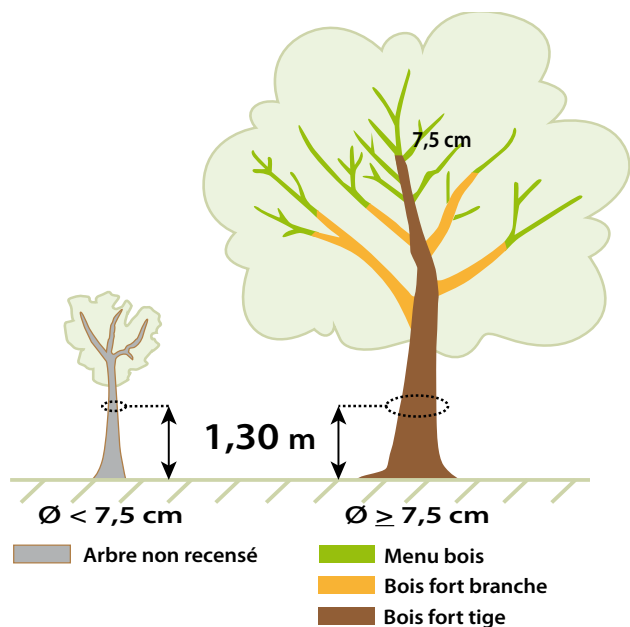


Figure 10 : Les compartiments de la biomasse forestière aérienne

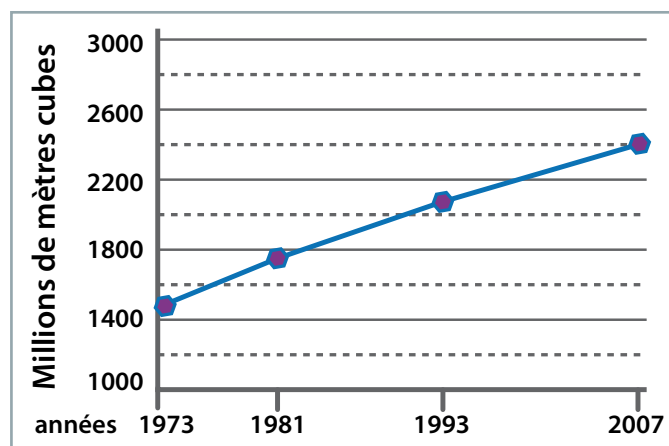


Figure 11 : Evolution du volume sur pied en France sur le dernier quart de siècle

Compter les volumes de bois

Les volumes de bois sont exprimés par les forestiers en « m³ bois fort tige, bois rond sur écorce ».

Le volume de biomasse aérienne est estimé à partir du volume du tronc en utilisant un « facteur d'expansion des branches », qui permet de calculer le volume du houppier, également rapporté en m³, à partir du volume du tronc.

A l'échelle de la forêt française, ce facteur est de 0,5 : 0,61 pour les feuillus et 0,34 pour les résineux (source : programme de recherche CARBOFOR).

Le volume de houppier est subdivisé entre le « bois fort branche » et le « menu bois », de diamètre inférieur à 7 cm et dont la richesse en minéraux limite son prélèvement.

Le bois d'œuvre est une fraction commercialisable du bois fort tige. Le reste de la tige, ainsi que le bois fort branche, est utilisable comme bois d'industrie (papier, panneaux de particules) ou bois énergie. On parle parfois du « BIBE » pour désigner ce compartiment qui fournit habituellement « Bois d'Industrie ou Bois Énergie ».

Le stock de bois sur pied est estimé à 2,4 milliards de m³ et il s'accroît de 25 millions de m³ (Mm³) tous les ans. La production biologique annuelle est de 85 à 90 Mm³ de bois fort tige (5,5 m³/hectare), soit au total – houppier compris – 130 Mm³ de bois.

⁴⁶ Rapport de la mission d'expertise sur les méthodes de l'IFN, Charles Dereix, Jean-Jacques Lafitte, Jean-Pierre Puig, Juillet 2011

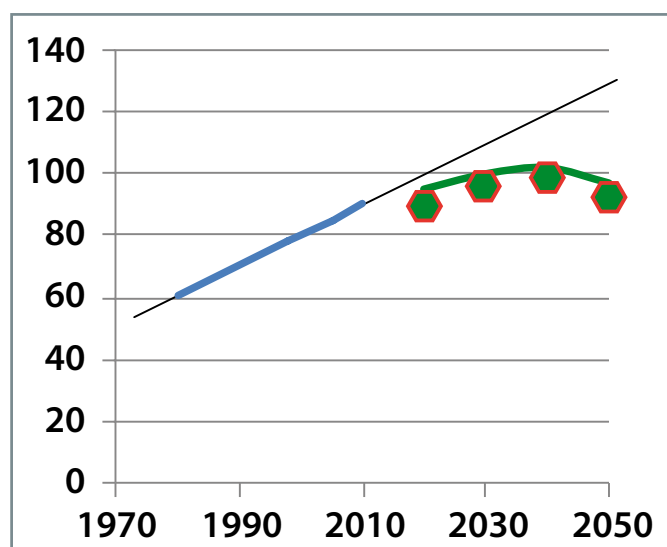


Figure 12 : Scénario d'évolution de la production biologique : évolution constatée depuis 1970 et hypothèses adoptées dans Afterres2050, en millions de m³ de bois fort tige.

Du fait de l'augmentation des surfaces forestières mais aussi de la structure de la forêt, globalement jeune, la production biologique a augmenté significativement ces dernières décennies puisqu'on estime qu'elle a progressé de l'ordre de 50 % en 30 ans.

Cette tendance devrait se poursuivre, mais des incertitudes pèsent sur les évolutions à moyen et long terme du fait du changement climatique.

La forêt supporte en effet mal le stress hydrique et des phénomènes de diminution de la production biologique sont déjà observés dans certains massifs forestiers méditerranéens.

Afterres2050 a adopté comme hypothèse une stagnation de la production biologique à hauteur de 105 Mm³ vers 2040, soit 157 Mm³ de biomasse totale, avec un risque de diminution de cette production avant 2050.

Les prélèvements actuels

La production biologique représente la quantité de bois que produit la forêt annuellement. Une partie est prélevée, le solde est capitalisé et contribue à l'accroissement des volumes sur pied. Les quantités prélevées sont commercialisées, une partie est « perdue » (c'est-à-dire laissée sur place, comme les sciures), une autre partie enfin est utilisée hors circuits commerciaux (bois de chauffage).

Selon l'IGN⁴⁷, les prélèvements en bois fort tige sont de 42 Mm³ par an pour des prélèvements totaux de 62 Mm³. Sur la période 2005-2008, les quantités commercialisées en moyenne annuelle sont de 37 Mm³ :

- 22 Mm³ de grumes,
- 12 Mm³ bois d'industrie,
- 3 Mm³ bois énergie.

Mm³	Bois fort tige	Autres compartiments	Total
Commercialisé	22+12+3		37
Autoconsommé	~	~	19
Pertes d'exploitation			6
Total prélèvements	42	~20	62
Production biologique	86	42	129
Taux de prélèvement	49 %		48 %

Tableau 21 : Production biologique et taux de prélèvement en forêt

Les usages hors circuits commerciaux peuvent être estimés à environ 19 Mm³, soit un total de 22 Mm³ de bois énergie, avec des incertitudes liées à la difficulté d'établir ces données. Les quantités commercialisées sont issues principalement du compartiment

« bois fort tige » tandis que les quantités hors circuits commerciaux proviennent en grande partie du compartiment « bois fort branche ».

Le taux de prélèvement peut ainsi être estimé à un peu moins de 50 % de la production biologique annuelle.

Les prélèvements futurs, avec une sylviculture plus productive et écologique

L'agglomérat « bois, papier, pâte à papier » représente le second poste déficitaire de la balance commerciale française, le premier étant l'agglomérat « pétrole, gaz, charbon ». Une exception : le poste « vieux papiers » est quand à lui excédentaire, pour la mauvaise raison que c'est l'Allemagne qui a investi dans les usines de recyclage. Réduire les importations, notamment de

bois non certifié provenant de la déforestation, tout en augmentant la part du bois dans la construction est possible : nous considérons que la forêt française doit jouer un rôle central, l'enjeu étant d'augmenter significativement les prélèvements, tout en augmentant les services écosystémiques rendus⁴⁸.

⁴⁷ L'IGN a absorbé l'institut forestier national

⁴⁸ Construire une société soutenable : quelle production pour quels usages du bois des forêts françaises ? Les Amis de la Terre, Mai 2009

Il existe peu de scénarios prospectifs sur la forêt française à long terme. Les travaux du Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux (CGAAER)⁴⁹, effectués avant la révision de la méthode d'inventaire. Son scénario « développement durable » misait sur un volume prélevé de 129 Mm³, pour une forêt de 17 millions d'hectares.

Les hypothèses Afterres2050 sont plus prudentes. Elles intègrent deux facteurs qui tiennent compte d'objectifs environnementaux et organisationnels :

- le taux de prélèvement global sur un massif forestier ne doit pas dépasser 75 %⁵⁰,

- le taux d'exploitation de la forêt productive ne doit pas dépasser 95 %.

D'où un taux de prélèvement maximal de 70%. Appliqué à une production biologique totale de l'ordre de 140 à 160 Mm³, les quantités mobilisables sont de l'ordre de 100 Mm³.

Les principes de l'agroécologie peuvent s'appliquer également à la forêt. L'objectif est de maintenir un haut niveau de production tout en augmentant la valeur écologique des systèmes forestiers, dans un contexte climatique qui devrait devenir de moins en moins favorable.

Energie et valorisations non alimentaires de la biomasse

Produire des bioénergies avec la biomasse agricole et forestière

La production d'énergie issue de la biomasse représente aujourd'hui (2010) près de 140 TWh, dont :

- 110 TWh d'énergie issue du bois (forêt, haies, espaces verts) et des produits dérivés (connexes de scierie, bois de rebut, liqueurs noires de papeterie, papiers cartons non recyclés),
- 28 TWh d'agrocultures,
- 7 TWh de biogaz.

Le bois énergie provient autant des sous-produits et déchets de bois (au sens large) que de la forêt, avec également des volumes non négligeables issus des arbres hors forêt (haies).

Les bioénergies sont aujourd'hui constituées majoritairement de bois bûche utilisé dans ses applications traditionnelles pour le chauffage des logements. Cet usage diminue progressivement dans le scénario négaWatt, en même temps que les besoins de chauffage, au profit d'installations collectives (réseaux de chaleur) ou industrielles. Le biogaz est valorisé dans un premier temps par cogénération d'électricité et de chaleur, puis de plus en plus sous forme de biométhane injecté sur le réseau public. Une partie de la biomasse ligneuse est également convertie en biométhane par gazéification suivie d'une réaction de méthanisation.

Origine du bois énergie (source : SSP – Service de la statistique et de la prospective du ministère de l'Agriculture)	Millions de m ³ bois rond ou équivalent	Energie primaire en TWh PCI
Forêt	18,5	48
Hors forêt	6,6	17
Déchets (connexes de scierie, liqueurs noires, déchets d'industries du bois, bois de récupération)	17,4	45
Total	42,5	110

La biomasse fournit ainsi deux voies de substitution au gaz naturel du méthane renouvelable. L'une des nouvelles utilisations du gaz est celle des transports :

le scénario négaWatt prévoit de remplacer une bonne partie des carburants par du méthane, en remplacement des produits pétroliers.

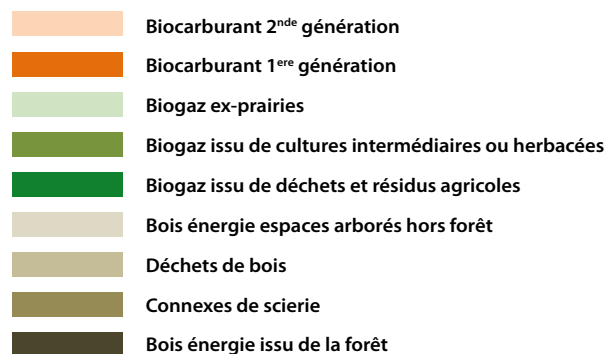
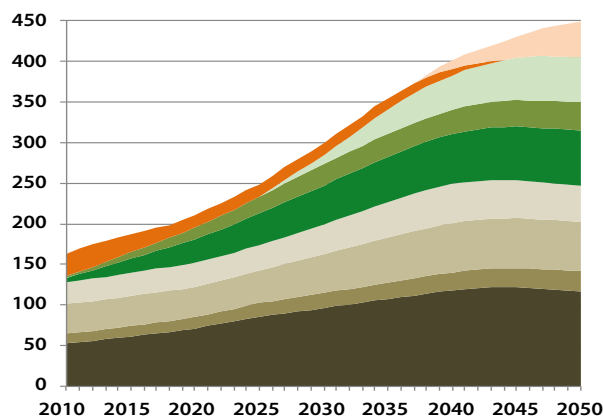


Figure 13 : Les ressources en biomasse énergie selon Afterres2050

⁴⁹ La forêt française en 2050 – 2100 : Essai de prospective. Juin 2008. Jean-Marie Bourgau, coordonnateur, CGAAER (Conseil général de l'agriculture, de l'alimentation et des espaces ruraux). Présidé par le ministère de l'agriculture et de

l'agroalimentaire, le CGAAER assure des missions d'audit, de conseil, de prospective et d'accompagnement des ministres.

⁵⁰ Note de position : Production, gestion et utilisation du bois énergie, FNE Août 2010

RESSOURCES BRUTES (TWh)	2010	2030	2050
Bois énergie issu de la forêt	53	108	132
Connexes de scierie	12	21	24
Déchets issus du bois	8	19	30
Bois énergie espaces arborés hors forêt	33	45	52
Biogaz issu de déchets	6	10	8
Biogaz issu de déjections d'élevage	0	19	22
Biogaz issu de résidus de cultures	0	23	38
Biogaz issu de cultures intermédiaires	0	26	47
Biogaz ex-prairies	0	5	28
Résidus de culture utilisés en combustion	0	1	2
Biocarburants 1 ^{ère} génération	28	15	13
Biocarburants 2 ^{nde} génération	0	0	16
Total	140	293	415

Tableau 22 : Les biomasses énergie d'ici à 2050

Note : les rubriques utilisées ci-dessus ne sont pas entièrement comparables aux autres sources statistiques provenant des ministères en charge de l'énergie d'une part, et de la forêt d'autre part.

Le biogaz

Le biogaz voit sa production multipliée et atteint 170 TWh en 2050. Il est d'origine agricole à plus de 90 %.

On considère que la méthanisation devient un standard de toute production agricole, qu'il s'agisse des systèmes d'élevage comme de cultures. Elle pourra prendre des formes multiples, comme aujourd'hui, depuis des unités à la ferme jusqu'aux installations collectives territoriales.

Biodéchets, déjections d'élevage, résidus de culture

La principale production de biogaz provient actuellement des déchets des ménages et des entreprises : biodéchets, boues de station d'épuration, effluents industriels, déchets agroalimentaires... On assiste dans Afterres2050 à un double phénomène : une part croissante de ces déchets est méthanisée, mais la quantité de déchets diminue grâce à la réduction des pertes et gaspillages. Les biodéchets fourniraient 8 TWh en 2050.

De la même façon, la quantité de déjections d'élevage diminue, en lien avec la diminution des cheptels et l'augmentation du temps de pâture, mais le taux de mobilisation en méthanisation augmente. Le potentiel estimé en 2050 est de 12 millions de tonnes de matières sèches, produisant 22 TWh. Le taux de mobilisation tient compte des ressources trop dispersées pour pouvoir alimenter une unité de méthanisation, mais il est élevé, de l'ordre de 90 %.

Ressources fourragères

Comme évoqué précédemment, Afterres2050 propose de faire évoluer les systèmes d'élevage bovin vers de nouvelles productions basées sur l'herbe. Le scénario prévoit d'utiliser environ 10 millions de tonnes de ma-

La méthanisation est utilisée à la fois comme outil de production d'énergie à partir des diverses ressources agricoles disponibles sur un territoire, mais également comme un outil d'optimisation de la fertilisation. Elle participe efficacement au recyclage de l'azote d'origine organique, de manière à limiter les besoins en engrais azotés.

Afterres2050 prévoit de mobiliser un quart des résidus de culture pour alimenter des unités de méthanisation. La diminution des cheptels conduit à réduire les quantités de paille utilisées en litière animale. Le taux de mobilisation de la paille augmente par rapport à aujourd'hui, la méthanisation conserve l'intégralité du potentiel humique de la paille et de sa valeur fertilisante (éléments minéraux). Elle transforme moins de la moitié du carbone total en biogaz, qui est autant d'énergie non disponible pour la vie du sol. Il faut donc limiter les prélèvements, d'autant que la paille joue un effet structurant pour le sol. Un taux de prélèvement de 25 % des pailles, dont 60 % du contenu en carbone total restitué aux sols, est compatible avec les objectifs de conservation des sols. La généralisation des pratiques de couverts permanents et de travail superficiel du sol contribue à maintenir des sols riches en matière organique. Le potentiel total est de 37 TWh.

tières sèches pour alimenter des unités de méthanisation, soit environ 20 % de la production d'herbe des prairies, ce qui générerait 28 TWh en 2050. Les cultures intermédiaires sont collectées et méthanisées, toujours

dans une double vocation de production d'énergie et d'engrais vert. Les cultures intermédiaires sont récoltées en vert, elles présentent une valeur fourragère, mais n'atteignent jamais la maturité. Elles peuvent être utilisées comme aliment pour le bétail. Dans Afterres2050, elles sont destinées en grande partie à la production d'énergie. Leur potentiel de récolte est estimé à près de 20 millions de tonnes de matières sèches,

Cultures énergétiques dédiées

Outre les 2 millions d'hectares de prairies récoltées pour la méthanisation, le scénario Afterres2050 intègre une production de biocarburant sur des surfaces de terres arables dédiées à cet usage.

On considère que 1,3 million d'hectares est déjà utilisé aujourd'hui pour les biocarburants. Ce chiffre diminuerait à moyen terme et ne remonterait qu'à partir de 2035, lorsque la triple transition – nutritionnelle, agricole et énergétique – sera suffisamment engagée pour rendre à nouveau légitime l'utilisation de terres arables pour des productions non alimentaires.

En 2050, les surfaces destinées à ces usages représenteraient environ 2,3 millions d'hectares, soit 1 million d'hectares supplémentaires par rapport à aujourd'hui. Les agrocarburants qui seraient produits en 2050 seront certainement différents de ceux d'aujourd'hui.

sur un peu moins de 18 millions d'hectares de terres arables. Il tient compte des contraintes inhérentes à ces productions : toute la production n'est en effet pas récoltable du fait de faibles rendements, soit en raison de la nature des sols, soit en raison des aléas climatiques qui peuvent modifier fortement les récoltes d'une année sur l'autre. Le potentiel de ces cultures intermédiaires est estimé à 47 TWh.

Pour avoir un ordre de grandeur de leur potentiel énergétique, on peut néanmoins donner une estimation sur la base des productions actuelles. Ces surfaces permettraient de produire par exemple 3 Mt de céréales et 4 Mt de graines d'oléagineux, soit une production brute d'énergie de 29 TWh, plus 6 millions de tonnes de drèches (en matière sèche) et de tourteaux utilisables pour l'alimentation animale.

Les modes d'obtention des carburants à partir de matières végétales seront sensiblement différents. Il est probable que certaines filières dites de 2^{de} génération seront disponibles à cette date, intégrées à des solutions de type « bioraffinerie » de transformation de matières végétales en différents produits biosourcés, et générant des coproduits utilisables comme combustibles ou carburants.

Le bois

Usages et prélèvements

Afterres2050 fait l'hypothèse d'une capacité de prélèvement de 100 à 110 Mm³ de bois en forêt d'ici 2040, qui se stabilise pour ensuite éventuellement décroître.

Mm ³	2012	2030	2050
Bois d'œuvre	22	29	30-32
Bois d'industrie	12	16	17-18
Bois énergie	22	41	44-50
Pertes d'exploitation	6	9	9-10
TOTAL	62	94	108-110
Production biologique :			
- bois fort tige	86	102	96-105
- bois total	129	153	143-158
Taux de prélèvement	49 %	61%	70 %

Tableau 23 : Evolution des prélèvements en fonction des usages en forêt

Le bois d'œuvre

La demande en bois d'œuvre a été quantifiée par le scénario négaWatt : la construction bois y prend une part significative, dans le neuf comme en rénovation. La France importe des bois tropicaux, ce qui participe à la déforestation mondiale, alors que sa filière bois est en difficulté, comme en témoigne le déclin du sciage ainsi que la fermeture de papeteries pour ce qui concerne le

bois d'industrie. Pourtant, il est envisageable d'augmenter significativement la production de bois d'œuvre, y compris et surtout en feuillus. Les perspectives réalisées par l'IRSTEA⁵¹ ou le FCBA⁵² aboutissent à un potentiel en bois d'œuvre supplémentaire supérieur à 10 Mm³ en 2020. Toutefois ces études sont antérieures à la révision méthodologique effectuée en 2011.

⁵¹ Biomasse forestière disponible pour de nouveaux débouchés énergétiques et industriels, IRSTEA (ex-CEMAGREF), 2009

⁵² Perspective de valorisation de la ressource de bois d'œuvre feuillus, FCBA, Février 2011. Cette étude donne un potentiel de 10 Mm³ supplémentaires pour le bois d'œuvre feuillus en 2020.

Le bois d'industrie / bois énergie

La production de bois d'œuvre nécessite des opérations sylvicoles et s'accompagne d'une production de petits bois. C'est ce « bois lié » qui constitue aujourd'hui l'essentiel de la production de bois énergie (hormis les taillis exploités traditionnellement en bois de chauffage). Le bois d'œuvre permet de stocker durablement du carbone, cette filière ne s'oppose pas à celle du bois énergie, qui en est au contraire complémentaire.

Selon l'étude IFN/FCBA/Solagro⁵³ de 2009, la ressource disponible supplémentaire en BIBE en 2020 est de 30 Mm³ pour la forêt (hors peupleraies et haies). Ce chiffre tient compte des contraintes environnementales, notamment des besoins en minéraux sur les sols sensibles, qui limitent l'exportation des menus bois.

En revanche, il ne tient pas compte des contraintes organisationnelles (morcellement de la propriété forestière, notamment privée, qui recèle l'essentiel du potentiel supplémentaire, pistes d'accès), ni économiques.

Seule la moitié du potentiel est disponible dans les conditions économiques actuelles. Mais un doublement du prix du bois « bord de route »⁵⁴ rendrait exploitable la quasi totalité de la ressource.

⁵³ Biomasse forestière, populiicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020. Rapport final, Novembre 2009, Antoine Colin et al. Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par l'Inventaire Forestier National (IFN), avec l'institut technologique Forêt Cellulose Bois Ameublement (FCBA) et Solagro. Voir <http://www.dispo-boisenergie.fr>

⁵⁴ On distingue le cours du bois sur pied et le prix du bois façonné et débardé, appelé « bois bord de route ».

Une hausse de 30 €/m³ de bois (soit un quasi doublement par rapport au prix moyen actuel) correspond à une augmentation de 20 € du baril de pétrole brut.

Afterres2050 fait l'hypothèse que d'ici 2050, l'augmentation du prix de l'énergie rendra cette ressource plus compétitive, et la disponibilité sera assurée grâce à l'amélioration des conditions de mobilisation (gestion de la forêt privée morcelée, logistique, structuration de la filière).

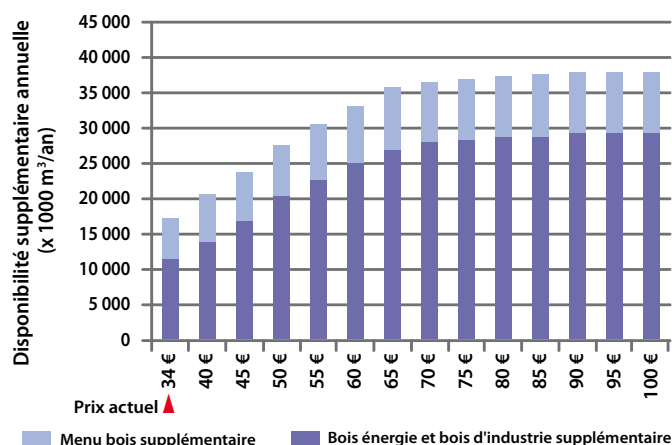


Figure 14 : Impact du prix moyen du bois bord de route sur la disponibilité supplémentaire de bois industrie/bois énergie (BIBE) ET de menus bois (MB) (source : IFN/FCBA/SOLAGRO)



© Eric Péro

Evaluation environnementale

Les intrants

La totalité des intrants utilisés par l'agriculture est en diminution, ou au minimum en stabilisation par rapport à un scénario tendanciel.

Énergie consommée dans l'agriculture, TWh	2010	2050
Energie directe	54	34
Carburants	28	19
Electricité	14	7
Combustibles	12	8
Energie indirecte	59	30
Azote	39	12
Autres intrants	11	8
Matériel	10	10
TOTAL	113	64

Tableau 24 : Consommation d'énergie dans l'agriculture, TWh, 2010-2050

L'énergie

La consommation d'énergie est divisée par 2, grâce aux changements de systèmes et de pratiques (carburant pour le labour, engrais), et aux améliorations techniques (serres basse consommation, irrigation économe, moteurs des tracteurs).

L'azote

La consommation d'azote de synthèse passe de 2,6 millions de tonnes, à 1 million de tonnes en 2050. Le bilan d'azote (entrée / sortie) a été établi à différents niveaux : au niveau des sols agricoles (cultures et prairies), des élevages, de l'alimentation humaine, et au niveau global.

Sources et flux d'azote en kt/an	2010		2050	
	Entrées	Sorties	Entrées	Sorties
Bilan azote « sols agricoles » 2010				
Fourniture primaire d'azote				
Engrais minéraux	2 550		1 020	
Fixation symbiotique	690		1 700	
Exportations d'azote				
Exportations par les fourrages		1 990		1 610
Exportations par les cultures		2 190		2 950
Flux de recyclage et de recirculation				
Redéposition atmosphérique	570		370	
Retour via la pâture	550		280	
Retour via les effluents d'élevage	690		360	
Retour via les résidus de culture non prélevés	630		370	
Retour via les digestats (déjections, herbe de prairie, résidus de culture, cultures intercalaires)	40		1 380	
Pertes diffuses				
Pertes par volatilisation et lessivage		1 550		920
TOTAL	5 720	5 720	5 470	5 470

Tableau 25 : Bilan azote « sols agricoles » 2010-2050

La quantité totale des « apports au sol » est assez proche des apports actuels, mais la structure du bilan est très différente.

La valeur protéique des productions végétales, représentée par les exportations par les fourrages et les cultures, est supérieure tandis que les pertes sont inférieures, ce qui indique une meilleure efficacité du système. La diminution des retours via la pâture et les déjections d'élevages, liée à la diminution du chep-

tel, sont compensées par l'augmentation des engrais verts apportés par les digestats de méthanisation.

La fourniture d'azote via les légumineuses est en hausse de 1 million de tonnes par an. Combinée aux effets précédents, la consommation d'engrais azotés décroît de 1,5 million de tonnes. Qui plus est, ces engrais sont produits à partir de biométhane, bouclant ainsi la boucle...



Pesticides

Les hypothèses de réduction de la pression phytosanitaire sont extraites de l'étude INRA-ECOPHYTO R&D⁵⁵. La pression phytosanitaire est mesurée par le nombre de doses uniques (NODU)⁵⁶ – traitement de semences

L'eau

Le changement climatique va générer de nouveaux besoins d'irrigation, notamment sur les céréales et oléoprotéagineux, ainsi que sur les prairies. Si rien n'est fait, ces besoins pourraient augmenter d'environ 1,5 milliard de m³ par an. Dans Afterres2050, la réduction de la sole en maïs, conséquence de l'évolution des cheptels,

inclus. Dans les scénarios Afterres2050, le NODU est divisé par trois : réduction de 30 à 50 % en « production intégrée » et 100 % en « agriculture biologique ».

permet de diviser par 2 la consommation d'eau en été et de réserver les usages de l'irrigation aux céréales et oléoprotéagineux, majoritairement au printemps et à l'automne pour les irrigations starter ou les irrigations de complément, ainsi qu'à la vigne et aux fruits et légumes.

Consommation d'eau, Mm ³	2010	2030	2050	Tendancier 2050
Céréales, oléoprotéagineux	200	1 200	1 100	1 200
Prairies, cultures fourragères	0	200	200	300
Maïs	1 800	1 300	700	1 700
Fruits et légumes	500	700	700	700
Autres	100	100	100	100
TOTAL	2 600	3 500	2 800	4 000
Dont consommation en été :	1 900	1 600	900	1 900

Tableau 26 : Consommation d'eau, Mm³, 2010-2050

Dans Afterres2050, la qualité de l'eau est fortement améliorée grâce à la forte réduction des produits phytosanitaires, des fuites de nitrates et à la baisse des émissions d'ammoniac, qui jouent un rôle indirect dans la pollution des eaux de surface. La multiplication des infrastructures agroécologiques, des bandes enherbées, le non-labour,

le maintien de couverts végétaux permanents, limitent l'érosion, participent à la purification des eaux de surface et à la préservation de la qualité des eaux souterraines.

⁵⁵ INRA – Programme ECOPHYTO R&D

⁵⁶ L'indicateur NODU, utilisé dans le cadre du plan Ecophyto est la somme de ces quantités « normalisées » pour l'ensemble des substances actives vendues.

Les émissions de gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture - en pouvoir de réchauffement global sur 100 ans - sont divisées par 2 dans Afterres2050 par rapport à aujourd'hui.

Le taux de réduction pour le méthane est de 67 % et celui du protoxyde d'azote de 50 %.

M t éq. CO ₂	CO ₂	CH ₄ éq. CO ₂	N ₂ O éq. CO ₂	Total
Emissions directes	6,3	14,4	23,7	44,4
Apports d'azote sur les sols agricoles, lessivage et volatilisation NH ₃			22,3	22,3
Fermentations entériques		14,0		14
Effluents d'élevage		0,4	1,4	1,8
Consommation d'énergie	6,3			6,3
Emissions indirectes	7,9	0	0,2	8,1
Fabrication engrais azotés	2,7		0,2	2,9
Production d'énergie	0,8			0,8
Autres intrants ⁵⁷	4,3			4,3
TOTAL	14,2	14,4	23,9	52,5

Tableau 27 : Evolution des émissions des gaz à effet de serre

Les principaux facteurs de diminution sont liés à la diminution du cheptel bovin, à la meilleure maîtrise de la fertilisation azotée qui joue à la fois sur les émissions de N₂O et les consommations de gaz fossile, avec en outre

des progrès techniques sur la fabrication des engrais, qui permettent de diminuer la consommation d'énergie (20 %) et d'émettre moins de N₂O⁵⁸.

Facteur	Contribution (M t éq. CO ₂)
Réduction des cheptels bovins	-22
Meilleure maîtrise de la fertilisation, générant moins de fuites d'azote dans l'air et l'eau, donc moins d'émissions de N ₂ O	-11
Diminution des fermentations des déjections d'élevage (via la méthanisation notamment)	-10
Diminution des consommations de gaz fossile pour la fabrication d'engrais azotés	-6
Diminution des émissions de N ₂ O à la fabrication des engrais	-5

Tableau 28 : Impacts des pratiques, systèmes et procédés sur les émissions de gaz à effet de serre

Cette division des gaz à effet de serre s'accompagne d'une augmentation de l'effet « puits de carbone », qui reste toutefois difficile à estimer : la surface de forêt augmente, celle des prairies se stabilise, le rythme de l'artificialisation ralentit sans pour autant s'arrêter. La quantité de carbone par unité de surface dans les sols augmente pour les terres arables, grâce aux techniques de travail simplifiées du sol et à la systématisation des couverts végétaux. La quantité de biomasse aérienne en forêt augmente puisque la totalité de la production biologique annuelle n'est pas prélevée, mais moins que dans un scénario avec un plus faible prélèvement.

L'objectif d'une division par 4 des émissions de gaz à effet de serre en agriculture ne semble pas possible, sauf à générer des ruptures sociétales majeures, comme la suppression de la quasi totalité du cheptel bovin, ou le boisement du tiers de la surface agricole de manière à stocker du carbone.

⁵⁷ Chaux, autres engrais, produits phytosanitaires, « énergie grise » des bâtiments et engins agricoles

⁵⁸ La fabrication des engrais azotés (hors urée) génère des émissions de N₂O, émissions qui pourraient être réduites très rapidement selon un rapport remis au ministère de l'agriculture de 75 %. Afterres2050 fait l'hypothèse d'une réduction de 90 % des émissions de N₂O en 2030.

La qualité de l'air

La qualité de l'air sera améliorée grâce à la diminution des émissions d'ammoniac, ainsi que des particules d'origine agricole, qui sont liées au travail du sol et à l'érosion éolienne.

L'augmentation importante de la biomasse énergie ne provoque pas de hausse des émissions atmosphériques polluantes. Les appareils de chauffage les moins performants sont rapidement remplacés par des équipements plus économes et qui génèrent 30

fois moins d'émissions. La biomasse est en grande partie convertie sous la forme de méthane, gaz dont la combustion n'émet ni particules ni hydrocarbures aromatiques polycycliques. Dans le scénario négaWatt, la réduction des consommations et la substitution de carburants gazeux renouvelables aux carburants et combustibles liquides fossiles est l'une des voies majeure de réduction des pollutions de l'air.

Des agrosystèmes plus résistants au changement climatique

Au-delà du respect du principe fondamental de l'agronomie qui consiste à choisir des assolements et des cultures cohérents avec les disponibilités climatiques (somme des températures et précipitations), Afterres2050, dans ses choix et options, joue sur la résilience globale en augmentant ou en restaurant la capacité des agrosystèmes à « encaisser » des écarts climatiques importants sur une courte période (sécheresses, orages).

Cette plus grande résilience découle principalement de :

- l'allongement des rotations et la diversification des assolements : synonyme de diversité variétale dans le temps et dans l'espace, cette stratégie « qui revient à ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier », sécurise les revenus des agriculteurs ;
- l'adoption de nouvelles conduites de cultures qui tiennent compte des disponibilités climatiques (par d'autres méthodes de travail – voire de non travail du sol par exemple) ;

- une couverture « permanente » des sols, en partie garante d'un maintien d'un haut niveau de matière organique, d'une meilleure gestion des réserves en eau, et d'une maîtrise des phénomènes d'érosion...

Pour la forêt, les contraintes d'adaptation sont beaucoup plus fortes, les arbres n'étant pas des plantes annuelles, mais des productions de long terme.

Quant aux forestiers, ils s'apprêtent à suivre les recommandations du plan national d'adaptation au changement climatique qui préconise de remettre de la diversité dans les peuplements, de favoriser les espèces les plus résistantes, et de modifier les interventions (éclaircies, espacement des arbres) afin de valoriser au mieux des ressources en eau qui pourraient devenir un facteur limitant.

L'introduction d'essences plus méridionales est également proposée.

Afterres2050

Synthèse

La prospective par scénarios est bien plus utile à l'action publique que la futurologie, car elle laisse aux décideurs la responsabilité du choix politique plutôt que de dissimuler des choix de valeurs dans des choix d'hypothèses.

Olivier de Schutter, communication à l'Université d'Hiver de Solagro, février 2013

Synthèse des principaux résultats

Afterres2050 s'inscrit dans une triple transition :

- Nutritionnelle : avec une assiette plus saine et équilibrée, mais tout aussi goûteuse ;
- Agricole : avec des agrosystèmes vivants, productifs et générateurs de bénéfices environnementaux ;
- Énergétique : avec des systèmes de production de bioénergies soutenables.

Parmi les comparaisons qui peuvent être effectuées entre Afterres2050 et la situation actuelle, ou un scénario tendanciel, les points majeurs sont les suivants :

- Une production végétale à un niveau voisin de la production actuelle, mais avec une forte réduction des intrants (azote, énergie, phytosanitaires) et des impacts (pollutions azotées, qualité de l'eau, santé publique) ;
- Des productions animales profondément modifiées, avec des propositions de diversification des élevages

bovins permettant de maintenir les prairies naturelles tout en réduisant fortement les émissions de méthane ;

- Le maintien d'une place importante de la France dans la sécurité alimentaire mondiale, dans le respect des paysanneries des pays du monde ;
- Des agrosystèmes reposant sur des infrastructures agro-environnementales nombreuses et diversifiées, sur des sols riches et vivants, donnant la priorité aux facteurs biologiques ;
- Des exploitations diversifiées qui s'engagent dans la production de qualité (bio, AOC, label rouge) et qui répondent aux besoins locaux ;
- Une division par 2 des émissions de gaz à effet de serre ;
- Une sylviculture ambitieuse, capable de produire du bois en quantité tout en augmentant la biodiversité et la valeur écologique des forêts.

Du scénario au modèle Afterres2050 : la transition

La transition ne se décrète pas, il faut la préparer pour qu'à partir de l'existant elle soit perçue comme une évolution positive ou comme un défi à relever plutôt que comme une contrainte. Elle s'inscrit dans un temps long, nécessaire à l'évolution de l'ensemble des acteurs et des systèmes.

Afterres2050 n'est pas, pour les agriculteurs engagés dans l'agroécologie, un scénario irréaliste. Pour eux, les obstacles à la généralisation de leurs pratiques ne sont pas principalement techniques. Les difficultés sont ailleurs. La transition nécessaire ne consiste en effet pas en quelques changements à la marge : elle implique des changements profonds qui supposent le déverrouillage des systèmes en place.⁵⁹ Or les systèmes existants sont difficiles à ébranler. La stratégie de chaque acteur renforce la stratégie des autres et il n'est facile pour personne de remettre en cause les tendances lourdes auxquelles il s'est adapté. « Une technologie n'est pas choisie parce qu'elle est la meilleure, mais elle devient la meilleure parce qu'elle a été choisie (Arthur, 1994).

La théorie sur les transitions socio-techniques⁶⁰ schématisée sur la page suivante met bien en évidence les différentes composantes d'un changement de « régime » : pression exercée par le contexte : social, politique, environnemental, ... diffusion des innovations à partir des « niches » d'acteurs tournés vers la nouveauté. Sans minimiser l'importance du verrouillage qui sert de puissants intérêts, cette approche est encourageante pour tous les pionniers, innovateurs dont l'engagement, même s'il paraît parfois aujourd'hui un peu vain, est pourtant indispensable à l'évolution du régime dominant.

Les agriculteurs pionniers de l'agroécologie, les élus qui favorisent l'utilisation des produits locaux et bio dans la restauration collective, les consommateurs qui ont déjà modifié leurs profils alimentaires et leurs modes de consommation, doivent se regrouper, se renforcer pour espérer faire naître un nouveau système.

Plusieurs conditions sont nécessaires, à savoir :

- Un consensus sur les limites environnementales, sociales, économiques du système actuel ;
- La cohérence et la validation des alternatives proposées (ce qui est bien l'ambition d'Afterres2050 !) ;
- La protection et le soutien des pionniers, éclaireurs, porteurs d'innovation ;
- Des conditions facilitant l'évolution d'une majorité des agriculteurs attirés par de nouvelles missions et fonctions. Il sera également nécessaire que les associations de consommateurs ou d'environnement, les professionnels de la santé et de la nutrition s'emparent de ce scénario et se l'approprient pour qu'il sorte des sphères agricoles, alimentaires, énergétiques.

Enfin, l'Europe, et en particulier la Politique Agricole Commune, doit mettre au cœur de son projet économique, social et environnemental, le déploiement, à l'échelle des régions, d'une agriculture écologique dans ses fondamentaux, et des politiques de santé attentives aux bienfaits d'une alimentation de qualité, sans bien sûr effacer les particularismes locaux !

⁵⁹ Voir à ce propos les travaux de Philippe Baret et Jean-Marc Meynard, tous deux intervenus aux universités d'hiver de Solagro

⁶⁰ Margini d'après Geels, 2011

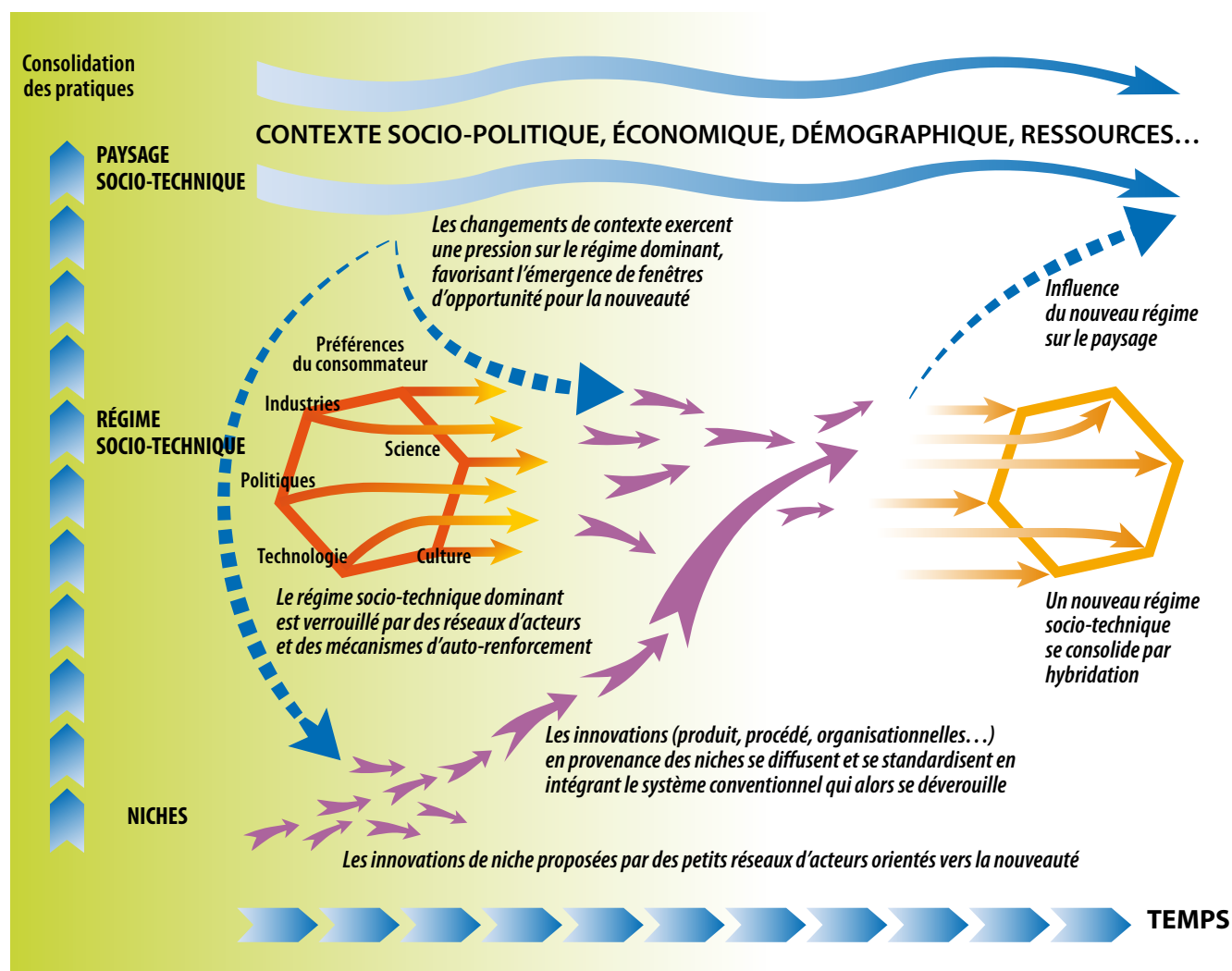


Figure 15 : L'approche multi-niveaux des transitions, adapté de Geel (2011)

Pour l'heure, une des priorités est sans doute d'accompagner les agriculteurs catalyseurs du changement, ce qui implique de :

- recréer autour d'eux des groupes de travail technique, sur les systèmes et pratiques agroécologiques (à l'image des CETA),
- créer des réseaux d'échanges et d'essaimage des savoirs,
- promouvoir et valoriser les références,
- créer dans chaque région, un fond permettant de financer :
 - le déploiement et le suivi en grandeur réelle - à l'échelle des exploitations ou des groupes d'exploitations - des innovations sur les pratiques et les systèmes,

- le dédommagement des insuccès : les agriculteurs doivent être sécurisés, y compris financièrement pour se désengager de l'« ancien » système. Ce système peut être remplacé par une prime à la conversion agroécologique, sur le même modèle que les primes allouées sur 5 ans à la conversion à l'agriculture biologique.
- Orienter massivement les crédits publics de recherche et d'enseignement sur les agricultures « systémiques » et écologiques.

Mais il conviendra de travailler simultanément et en coordination avec les acteurs en amont et en aval de l'agriculture : fourniture d'intrants, valorisation et commercialisation distinctive des productions.

Suites et perspectives

Le travail de déclinaison régionale qu'il est prévu d'engager pour une deuxième phase avec quatre régions volontaires – Centre, Île-de-France, Picardie et Rhône-Alpes – donnera, entre autre, l'opportunité d'approfondir ces réflexions et de vérifier la pertinence de ces approches sur les territoires.

La réalisation d'une analyse économique et sociale du scénario sera ensuite un passage obligé pour en asseoir la crédibilité. Cette analyse devra être couplée bien évidemment avec une analyse identique du scénario tendanciel.

Enfin, l'élaboration concertée de propositions d'action et leur mise en œuvre ouvre de vastes chantiers pour les années à venir.

Afterres2050 sous tend des bouleversements profonds, à l'échelle de nos comportements, individuels et collectifs. Comment s'engager dans un nouveau pacte agri-

cole et alimentaire dans une dynamique de transition ? Comment passer d'un modèle à un autre, radicalement différent, dans ses fondements et ses fonctionnements ? C'est un scénario d'espoir face aux dangers et aux crises en cours et à venir. Il apparaît plus serein et plus sûr que le scénario tendanciel du laisser-faire. C'est un scénario de qualité d'alimentation, de qualité d'environnement, de qualité de santé, de qualité d'avenir.

Afterres2050 ouvre un horizon d'une quarantaine d'années, aucune ne sera de trop pour remettre de la complexité dans des systèmes simplifiés à l'extrême.

Puisse notre démarche encourager les agriculteurs à poursuivre leurs efforts ; aider les citoyens à les reconnaître et à assumer leur part du changement et enfin convaincre les décideurs de créer les conditions permettant d'accélérer les nécessaires transitions.





Créé en 1981, Solagro est un bureau d'études associatif qui s'est donné pour mission d'ouvrir de nouvelles voies pour l'agriculture, l'énergie et l'environnement et de favoriser « une gestion durable, solidaire et de long terme des ressources naturelles ».

Pour concrétiser ce projet, porteur avant l'heure des valeurs d'un « développement soutenable », l'association s'est dotée d'une équipe qui compte aujourd'hui 25 permanents dont 19 ingénieurs en agronomie, énergétique, économie, écologie.

Ce qui soutient l'action de Solagro ?

- des compétences d'ingénierie et d'assistance aux maîtres d'ouvrage (publics et privés) pour la conception et la réalisation de leurs projets,
- la conception d'outils d'aides à la décision à l'attention des pouvoirs publics,
- la capacité d'engager des démarches de prospective originales, consolidées par l'ancrage dans des projets de terrain qui permettent de « garder les pieds sur terre »,
- une grande curiosité pour « aller voir ailleurs » au-delà des frontières, mais aussi dans les archives et les bases de données statistiques tellement riches d'enseignements,
- le goût du partage des connaissances par la formation et la mise en débat des idées,
- la richesse des partenariats noués avec des administrations, institutions, bureaux d'études, chercheurs, réseaux et organisations agricoles, associations en France et dans de nombreux pays européens,
- Et bien sûr, l'implication de son réseau d'adhérents, composé essentiellement de citoyens et de quelques personnes morales. Les bénévoles consolident l'action, participent aux commissions de réflexion, veillent à la cohérence du parcours.

Solagro est membre de plusieurs fédérations ou réseaux d'échanges et de mutualisation comme le CLER-Réseau pour la transition énergétique et le Réseau TEPOS des territoires à énergie positive... le Club Biogaz de l'ATEE, l'AFAHC - association française des arbres et des haies champêtres, FNE Midi-Pyrénées.

Ces réseaux permettent de porter collectivement les propositions auprès d'un public plus large, des autorités locales, nationales et européennes, dans l'espoir d'orienter les politiques publiques.

Solagro : 75, voie du TOEC - CS 27608
31076 Toulouse Cedex 3
Association loi 1901 - Siret : 324 510 908 00050
Tél. : + 33(0)5 67 69 69 69
Fax : + 33(0)5 67 69 69 00
mél : solagro@solagro.asso.fr

www.solagro.org

Rédaction :
Solagro

Crédits photos :
© Solagro sauf mentions contraires

Conception et réalisation graphique, illustrations :
Eric Péro (spyro) - www.imageric.fr

Janvier 2014
© Solagro

Afterres2050

Scénario soutenable pour l'agriculture et l'utilisation des terres en France à l'horizon 2050, Afterres2050 a été conçu et porté par l'entreprise associative Solagro qui réunit des experts, des agriculteurs, des citoyens qui depuis plus de trente années « ouvrent d'autres voies pour une gestion économe, solidaire et de long terme de nos ressources naturelles ». Le scénario se veut désirable, crédible et compréhensible.

Désirable parce qu'il offre, à tous ceux qui refusent de baisser les bras, des pistes d'action concrètes, de l'agriculteur au consommateur, de la fourche à la fourchette, pour parvenir en 2050 à une utilisation des terres qui permette de répondre aux besoins alimentaires de la population sans négliger pour autant ses besoins en matière de logement ou d'énergie. Crédible parce que ses hypothèses et ses résultats sont fondés sur les études, les statistiques, les expériences d'agriculteurs innovants qui les justifient.

Compréhensible parce que, loin d'être réservé aux spécialistes de l'agriculture, de l'alimentation ou de la prospective, il s'adresse simplement à toutes les personnes désireuses de comprendre comment il est possible d'infléchir les tendances actuelles en matière d'alimentation et d'agriculture pour atteindre des objectifs ambitieux mais réalistes.

Afterres2050 ouvre la discussion autour d'une rupture « à l'amiable » avec des voies qui ont fait la preuve de leur incapacité à lutter contre le changement climatique en limitant les gaz à effet de serre, à nourrir les Français sans générer de graves pollutions et risques pour la santé, à permettre le développement des agricultures des pays du Sud sans pour autant se désolidariser du reste du monde, à reconnaître aux agriculteurs le rôle et la place qui leur revient.

Le projet Afterres2050
est soutenu par la Fondation
Charles Léopold Mayer
pour le Progrès de l'Homme.



www.solagro.org

