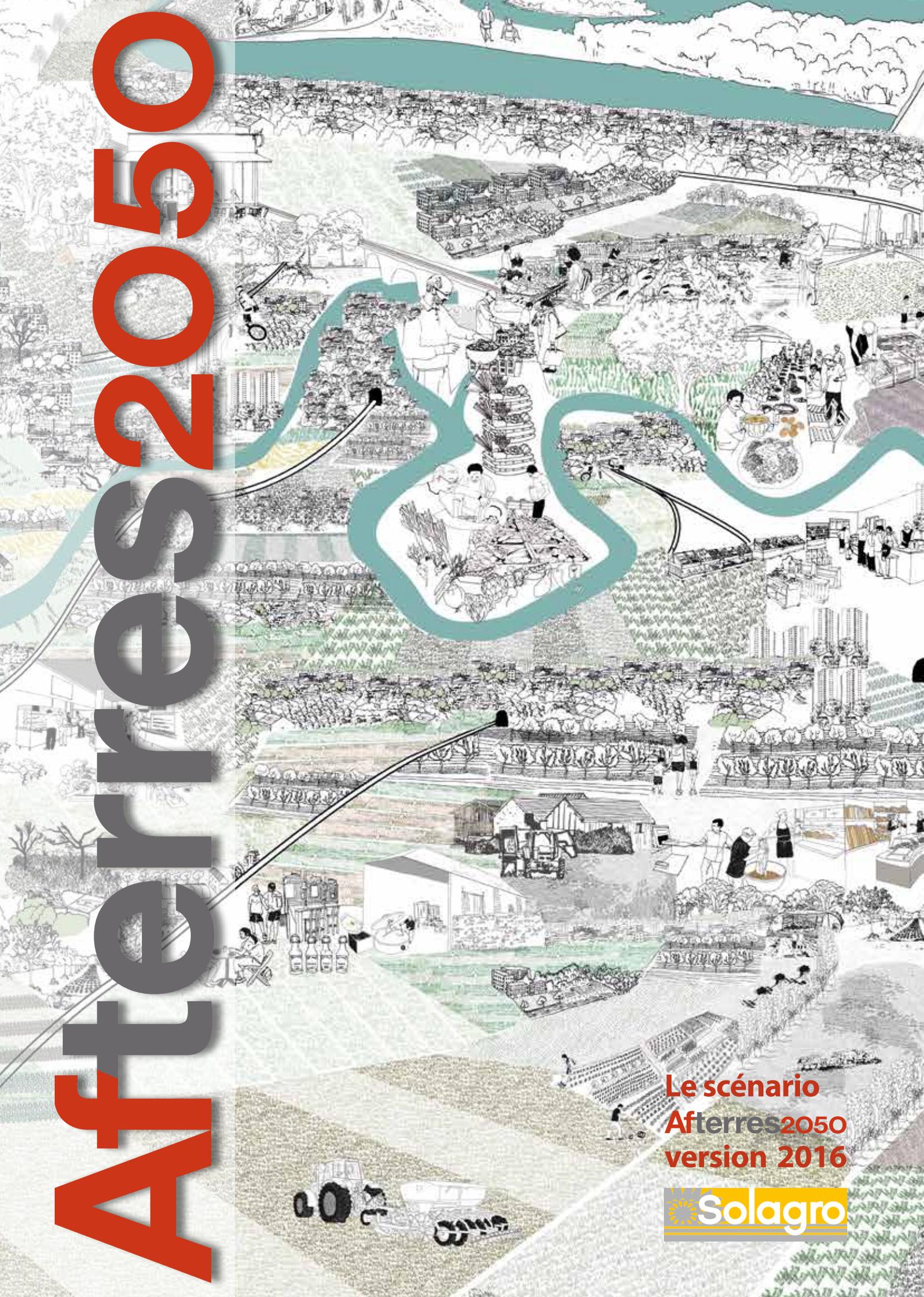


Afterres 2050



Le scénario
Afterres2050
version 2016



Les auteurs :

Association Solagro

Christian Couturier, Madeleine Charru, Sylvain Doublet et Philippe Pointereau

Remerciements :

La version affinée et consolidée du scénario présentée dans cet ouvrage s'appuie sur les travaux menés par Solagro en 2014 et 2015 pour la déclinaison régionale du scénario Afterres2050.

Ces travaux ont été réalisés grâce :

- au soutien de l'ADEME, de la Fondation Charles Léopold Mayer pour la progrès de l'Homme, des régions Centre Val de Loire, Ile-de-France, Picardie, et Rhône Alpes,
- à l'active participation de plus de 200 acteurs régionaux aux ateliers et plénières de concertation,
- aux apports et critiques constructives des 18 membres du conseil scientifique.



Ils en sont tous ici vivement et chaleureusement remerciés.

Avertissement à lire au début

Guide de lecture : une démarche systémique, une lecture non linéaire

Ce document décrit le scénario Afterres2050 à travers différents éclairages : se nourrir, cultiver, élever des animaux, utiliser la biomasse et les terres agricoles, évaluer les impacts agronomiques, environnementaux et socio-économiques.

Lisez de gauche à droite et de haut en bas, et faites des pauses : ce sont les seules consignes de lecture que nous vous donnerons. Vous pouvez commencer par où il vous plaira et naviguer librement d'un chapitre à un autre. Il n'existe pas d'entrée unique, la lecture n'est ni linéaire ni chronologique, car la démarche Afterres2050 est holistique - et la vue d'ensemble apparaît progressivement. C'est également une démarche itérative : les hypothèses initiales sont révisées en fonction des résultats obtenus, impossible de les séparer. Nous avons essayé, autant que possible, de présenter nos choix qui reflètent nos arbitrages et nos préférences. L'objectif étant de contribuer au débat sur des bases raisonnées et argumentées, sans prétendre en faire un programme.

Le chapitre « la fabrique d'Afterres2050 » est composé de deux parties :

- La première partie - « La démarche » - explique la genèse et le déroulement du projet depuis sa naissance fin 2010. Pourquoi cette entreprise, qu'est-ce que l'étape de « régionalisation », pourquoi un conseil scientifique ? Elle précise également les points clé de la méthodologie : outils de modélisation, choix des échelles.
- La seconde partie - « Dans les arcanes comptables de la bioéconomie » - aborde les questions de la comptabilité. Tous ces sujets – contenu de l'assiette, bilans d'approvisionnement, comptabilité forestière, comptabilité carbone - sont truffés de pièges. Absolument indispensable pour les lecteurs qui voudront comprendre les chiffres !

Des points de référence pour comparer

Il est tentant de comparer Afterres2050 à la situation actuelle (notre point de référence est 2010). Si cette comparaison permet effectivement de mesurer des évolutions possibles, c'est la comparaison avec d'autres scénarios qui permet de se forger un avis. En 2050, tous les scénarios de prospective agricole devront faire avec les mêmes contraintes : une population plus nombreuse, des impacts avérés du changement climatique, un effondrement des ressources halieutiques... D'où la présentation pratiquement systématique du scénario Afterres2050 avec deux variantes, « SAB » et « REP », et d'un scénario dit « Tendancier » qui consiste pour l'essentiel en une prolongation des tendances passées, sous des contraintes extérieures identiques à celles adoptées dans Afterres2050.

SAB (Santé, Alimentation, Biodiversité) généralise l'agriculture biologique et les systèmes de production sans phytosanitaires. REP (Résilience & Production) privilégie la production photosynthétique pour augmenter le captage du carbone. Il ne s'agit pas de scénarios extrêmes, mais bien de variantes d'Afterres2050.

■	Nourrir les humains	6
	Mieux nourrir la population	7
	La demande alimentaire, objet du débat public	
	Agir sur les comportements alimentaires	
	Manger moins pour manger mieux	
	Moins gaspiller	
	Changer de régime	
	Trouver un nouvel équilibre entre protéines animales et végétales	
	Réduire le calcium apporté par les produits laitiers	
	L'assiette Afterres 2050	
	Prendre notre juste part dans la sécurité alimentaire mondiale	13
	Une grande puissance exportatrice de denrées agricoles	
	Nourrir le monde ?	
	Afterres2050 et les scénarios mondiaux	
	Un solde exportateur encore largement positif	
■	Cultiver les végétaux	17
	Repenser les systèmes de cultures	18
	L'agrosystème pensé comme un écosystème	
	Le sol, pellicule de la vie sur terre	
	Boucler le cycle des nutriments	
	La diversité, facteur de production	
	Mobiliser les facteurs de production vivants	
	Les cultures dans Afterres2050	21
	Portrait de ferme en 2050 : une exploitation en grandes cultures en région Picardie	
	Modélisation des systèmes de culture	
	Des arbres et des forêts	26
	Une sylviculture productive et durable	
	Forêt, bois et bilan carbone	
■	Élever les animaux	29
	Trois dilemmes	30
	Intensif, extensif ? Monogastriques, ruminants ? Herbe ou grains ?	
	Le retour du pâturage	
	Modélisation des systèmes d'élevage : les ruminants	
	Modélisation des systèmes d'élevage : porcs et volailles	
	Les élevages dans Afterres2050	35
	Portraits de fermes en 2050 : un élevage bovin viande en Centre Val de Loire	
	et un élevage bovin lait en Rhône-Alpes	
■	Utiliser les terres	37
	Surfaces non agricoles	38
	L'artificialisation des terres	
	La forêt	
	Les autres surfaces	
	Surfaces agricoles	40
	Du local au régional, du régional au national	
	Vaches et prairies	
	L'évolution des surfaces agricoles dans Afterres2050 et ses variantes	
	Le jeu des surfaces, pertes et gains	44
■	Produire	46
	Les productions végétales agricoles	47
	Cheptels & productions animales	48
	Ruminants	
	Monogastriques (Porcs et volailles)	
	Les productions forestières	53
	Etat des lieux et comptabilité forestière	
	Scénarios prospectifs	

Valorisations non alimentaires de la biomasse	55
Du carbone renouvelable pour l'énergie et les matériaux	
Produire des bioénergies avec la biomasse agricole et forestière	
Le bois	
Le biogaz	
Biocarburants	
Production et utilisation des bioénergies	
■ Evaluer les impacts	59
Produire autant avec 2 à 3 fois moins d'intrants	60
Un cycle de l'azote profondément modifié	
Moins d'énergie, plus de renouvelables	
Air pur, eaux propres	61
Haute ou basse, l'atmosphère respire mieux	
L'eau	
L'équation climat & carbone	63
Prise en compte de l'ensemble de la chaîne alimentaire dans la lutte contre le changement climatique	
Division par 2 de notre empreinte climatique	
In fine, arbitrer les flux d'énergie	
Biodiversité et résilience des écosystèmes	67
Des écosystèmes plus résistants au changement climatique	
La biodiversité préservée, les écosystèmes restaurés	
Economie et emplois	68
Quelques bases d'économie agricole	
Premières explorations des enjeux socio-économiques	
■ Conclusions et perspectives	73
Synthèse des principaux résultats	74
Indicateurs clés	
En résumé, Afterres en 2050 c'est ...	
Et alors ?	
■ La fabrique d'Afterres2050	76
La démarche	77
Un scénario pour le débat public	
Physique, ascendant, normatif, récursif	
Conjuguer les échelles	
Principes et valeurs	
Trois variantes + un tendanciel ...	
Dans les arcanes comptables de la bioéconomie	81
Unités de compte	
Compter notre alimentation	
Du champ à l'assiette : les bilans d'approvisionnement	83
Les bases de données statistiques de la FAO	
Bilan emplois - ressources	
La forêt et le bois	86
Unités, concepts et sources	
La comptabilité carbone et gaz à effet de serre	
Systèmes et pratiques agricoles : définitions	89
Systèmes et pratiques agricoles	
De quelles agricultures parle-t-on ?	
■ Tableaux complémentaires	91



50
ans
de
vie

**Nourrir
les humains**

Mieux nourrir la population

La demande alimentaire, objet du débat public

« Si le monde entier devait suivre le régime alimentaire nord-américain¹, il est fort probable que la planète ne suffirait pas à produire une alimentation suffisante », explique l'agronome Michel Griffon², qui poursuit : « l'abus de viande provoque des maladies cardiovasculaires, et l'abus de sucres courts entraîne des diabètes du type 2... Il apparaît souhaitable dans chaque tradition alimentaire de limiter tout ce qui est générateur de maladies, donc de limiter la viande, les sucres courts et accroître les sucres lents, les légumes et les fruits dans les rations ».

Le diagnostic n'est pas récent, ce qui est nouveau est le fait qu'agronomes, nutritionnistes, grands chefs étoilés et mouvements issus de la société civile se rejoignent dans leur mise en cause d'un régime alimentaire qui n'est plus adapté aux besoins nutritionnels de notre société.

Ainsi la prospective Agrimonde portée par l'INRA et le CIRAD explique que « oui, nous allons nourrir les 9 milliards d'êtres humains que comptera la Terre en 2050, à condition de ne pas prolonger les tendances actuelles »³. En particulier, fait inédit, la prospective agricole considère que le régime alimentaire n'est pas une donnée d'entrée, une demande à satisfaire, mais un objet de politique publique qu'il est possible et nécessaire de questionner et remettre en cause.

L'Académie des Sciences rend un avis similaire⁴ rappelant qu'il faut « maintenir impérativement les capacités de production importantes de la profession agricole européenne mais en les réorientant vers des productions écologiquement acceptables », il souligne surtout qu'il est nécessaire d'« inciter chacun à réduire sa

consommation de produits d'origine animale ». Pour le grand chef Alain Ducasse, le concept de naturalité est amené à devenir le concept gastronomique des années à venir : « se nourrir de façon plus saine et naturelle est aujourd'hui une attente et une nécessité qu'il est temps de traduire dans le domaine de la haute cuisine. Des produits exceptionnels s'exprimant dans leur simplicité, une technique qui a l'élégance de s'effacer pour se mettre à leur service. Voilà la cuisine que j'aime sincèrement ».⁵

Si l'alimentation a toujours passionné, on assiste depuis plusieurs années à une convergence des problématiques. Notre système alimentaire est devenu un point focal de première importance pour tout ce qui touche à des aspects aussi vitaux que la santé, l'environnement, la culture. C'est bien cette centralité qui impose une vision systémique, tant ces questions apparaissent comme les différentes facettes d'un même sujet.

Jusqu'à présent, dans bon nombre d'exercices prospectifs, la demande était considérée comme une donnée d'entrée, le système productif ayant 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 éventuels 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 impacts. 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 ».

Agir sur les comportements alimentaires

Modifier notre régime alimentaire est nécessaire. D'ailleurs les comportements alimentaires évoluent en permanence. Mais est-il possible d'orienter ces évolutions ?

Les dépenses alimentaires des ménages diminuent en valeur relative (mais pas en valeur absolue toutefois), passant de 28% du revenu disponible brut au début des années 1960 pour descendre à 17 % à la fin des années 2000. Elles sont aujourd'hui stables, voire en légère augmentation⁶.

La consommation de pain et de pommes de terre diminue, celle de fruits et légumes frais augmente. La consommation de viande diminue, la part de porc et volaille augmente au détriment de la viande de bœuf. Nous consommons moins de lait mais plus de yaourts, nous buvons moins de vin mais de bien meilleure qualité, la demande en eaux minérales a explosé.

Les inégalités alimentaires persistent, la demande se porte de plus en plus vers des produits transformés et la restauration hors domicile (25 % contre 14 % en 1960 selon l'INSEE). « Plus qu'à une reconfiguration de l'alimentation selon de nouvelles normes et valeurs, nous assisterons demain probablement à la mul-

tiplication des profils... Une même personne pouvant passer d'un type de consommateur à l'autre en fonction de multiples facteurs »⁷.

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 et des jeunes, puissants « passeurs » de changement intergénérationnels. L'information, l'éducation nutritionnelle et environnementale sont des déterminants fondamentaux des habitudes alimentaires. Elles sont efficaces si les messages génériques sont combinés avec différents outils permettant de cibler des objectifs et groupes précis. Les politiques nutritionnelles doivent agir en priorité sur l'offre : qualité nutritionnelle des aliments via des mesures réglementaires ou incitatives ; disponibilité des aliments (fruits frais) ; packaging et affichage des allégations nutritionnelles ; etc.⁸

L'enseignement de la diététique est au cœur de toute action publique. Force est de constater que celui-ci est fortement influencé par les acteurs de l'agroalimentaire, et que les pré-

¹ On pourrait aussi bien dire « européen ».

² Michel Griffon : « Il faudrait 2 planètes pour remplir les estomacs, les réservoirs et préserver la biodiversité ». Le Monde, 05/04/2007

³ « 9 milliards d'hommes à nourrir : un défi majeur ! ». Marion Guillou (Présidente de l'INRA) et Gérard Mathéron (Président du CIRAD), 2011.

⁴ Rapport de l'Académie des Sciences, « Démographie, climat et alimentation mondiale », 2011.

⁵ Alain Ducasse, Piazza Athénée, « La naturalité ».

⁶ Brigitte Larochette et Joan Sanchez-Gonzalez, « 50 ans de consommation alimentaire », INSEE Première n°1556, Octobre 2015

⁷ Céline Laisney, L'évolution de l'alimentation en France, Document de travail publié par le Centre d'Etudes et de Prospective du Ministère de l'Agriculture, n°5, Janvier 2012.

⁸ L'INRA a publié en 2010 une expertise scientifique collective, « Les comportements alimentaires - Quels en sont les déterminants ? Quelles actions, pour quels effets ? », Juin 2010.

conisations en matière d'apports nutritionnels conseillés ne reposent pas toujours sur des bases scientifiques solides.

La cacophonie règne en matière de recommandation alimentaire, contribuant à désorienter le citoyen consommateur et à paralyser le politique. Certes, « *l'état de santé en France apparaît globalement bon* »⁹, les français mangent à leur faim et peuvent trouver facilement des produits de qualité.

Les pouvoirs publics ont mis en place un grand nombre de dispositifs: le programme national nutrition santé (PNNS) a été lancé en 2001, la loi de santé publique de 2004 fait l'objet d'un rapport d'évaluation annuel, un observatoire de la qualité de l'alimentation (OQALI) créé en 2008 par l'INRA et l'ANSES évalue la qualité nutritionnelle de l'offre alimentaire, le programme national pour l'alimentation institué par la loi de modernisation de l'agriculture et de la pêche de 2010 fixe le cadre d'élabora-

Manger moins pour manger mieux

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 2002¹¹).

Aux méfaits d'une alimentation trop riche, s'ajoutent d'autres facteurs liés à nos modes de production agricole. Plusieurs études¹² 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.

Le taux d'obésité en France, s'il reste parmi les plus bas des pays de l'OCDE touche, en 2012, 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 ans¹³. Ce phénomène semble stabilisé à 3,5 % des enfants en grande section de maternelle en 2013¹⁴. 20 à 27 % des cancers en Europe¹⁵ seraient

Moins gaspiller

Une part importante de la production agricole alimentaire consommable finit à la poubelle. Au niveau mondial, on estime qu'un tiers de la production d'aliments est perdu ou gaspillé chaque année, ce qui représente 1,3 milliard de tonnes d'aliments¹⁸. En Europe, les pertes et gaspillages totalisent 39 % de la consommation.

En croisant différentes sources¹⁹, on peut estimer ces pertes par type de produit, et par stade depuis le champ à la cuisine.

Les pertes et gaspillages peuvent être évalués à 260 kg par

personne et par an, et répartis à parts comparables entre 3 grandes catégories : le stade de la production agricole, celui de la consommation finale, et enfin l'ensemble des étapes intermédiaires entre le champ et la cuisine (stockage, transport, transformation, distribution).

Une étude plus récente²⁰ détaille ces pertes depuis le champ à l'assiette. Même si le résultat global (150 kg de pertes par personne) diffère des travaux précédents du fait d'un périmètre et d'une méthode différents²¹, elle confirme la répartition entre les

attribuables à des facteurs nutritionnels, au premier rang desquels l'alcool, le surpoids et l'obésité, l'insuffisance des consommations de fruits et légumes, l'excès de viandes rouges et de charcuterie. Il faudrait y ajouter les pesticides et la partie des perturbateurs endocriniens présents dans notre alimentation.

« *Trop gras, trop sucré, trop salé* », comme nous le rappellent les injonctions de l'INPES¹⁶ : selon les études INCA¹⁷, nous consommons par exemple 45 % de protéines en trop, soit 90 grammes par jour et par personne au lieu des 52 grammes conseillés, et 25 % de sucre en excès. Ajoutons « *trop riche, trop raffiné, trop transformé* » : sucre, pain et pâtes complètes offrent une bien meilleure valeur nutritionnelle que leurs équivalents blancs.

C'est bien à ces surconsommations qu'il convient de s'attaquer en priorité : manger moins, ce n'est pas se priver, c'est éliminer les excès.

Afterres2050 propose de réduire de 50 % notre surconsommation totale en protéines ; de réduire de 14 % à 11 % (pour 10 % conseillés) 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 directement ou indirectement (boissons sucrées, pâtisseries, etc.).

⁹ L'état de santé de la population en France - Suivi des objectifs annexés à la loi de santé publique, rapports 2011 et 2015.

¹⁰ Voir par exemple le colloque « Nutrition, intérêts économiques, et pouvoir politique : quelle éducation critique ? » organisé par l'Association de Diététique et Nutrition Critiques en Mai 2011. Nous avons collaboré avec plusieurs des intervenants : Paul Scheffer, président de l'ADNC ; Christian Rémésy, directeur de recherche émérite à l'INRA ; Claude Aubert, ingénieur agronome INAPG.

¹¹ « 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.

¹² 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 et al. : Incident diabetes and pesticides exposure among licensed pesticide applicators, Agriculture Health study 1993-2003 Am. J. of Epidemiology 2008 ; 167 : 1235-46.

¹³ Selon Laurent Chevallier, consultant nutritionniste, praticien attaché au CHU de Montpellier.

¹⁴ Rapport sur l'état de santé de la population en France en 2015.

¹⁵ Cité par l'Institut National du Cancer, « Les cancers en France », 2014. Il n'existe pas d'étude de ce type au niveau français.

¹⁶ INPES : Institut national de prévention et d'éducation pour la santé.

¹⁷ INCA : Etude Individuelle nationale des consommations alimentaires (INCA1 en 1998-1999 et INCA2 en 2006-2007).

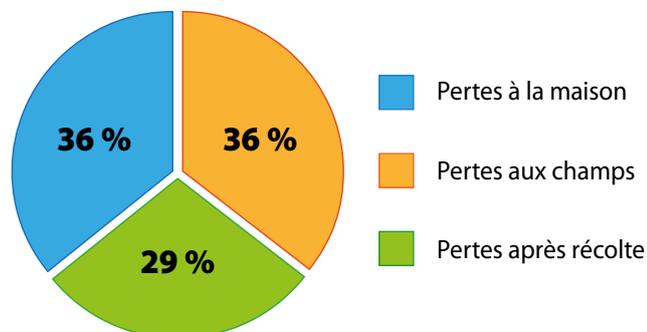
¹⁸ FAO, 2012. Pertes et gaspillages alimentaires dans le monde - ampleur, causes et prévention. Rome.

¹⁹ L'étude FAO sur les pertes et gaspillages, et « La grande [sur-] bouffe », Bruno Lhoste, Octobre 2012, Edition Rue de l'Echiquier.

²⁰ Pertes et gaspillages alimentaires : l'état des lieux et leur gestion par étape de la chaîne alimentaire. Income Consulting et AK2C pour l'ADEME, Mai 2016.

²¹ L'étude comptabilise par exemple certains produits « tels quels » et non en équivalent à la production primaire. Voir « Les arcanes comptables de la bioéconomie ». Les différences portent surtout sur les fruits et légumes.

principales étapes et les taux de pertes par grandes catégories. Le taux de pertes est le plus élevé pour les fruits et légumes ainsi que les tubercules, puisque les pertes représentent l'équivalent de la moitié des quantités mises sur le marché. Mais les pertes sont également massives pour tous les produits en général, entre le quart et le tiers des quantités mises sur le marché.



• Pertes par catégorie de produit et par stade. (Cf : Tableau détaillé en page 98)

Selon Bruno Lhoste²², la lutte contre le gaspillage alimentaire passe par les 6 R :

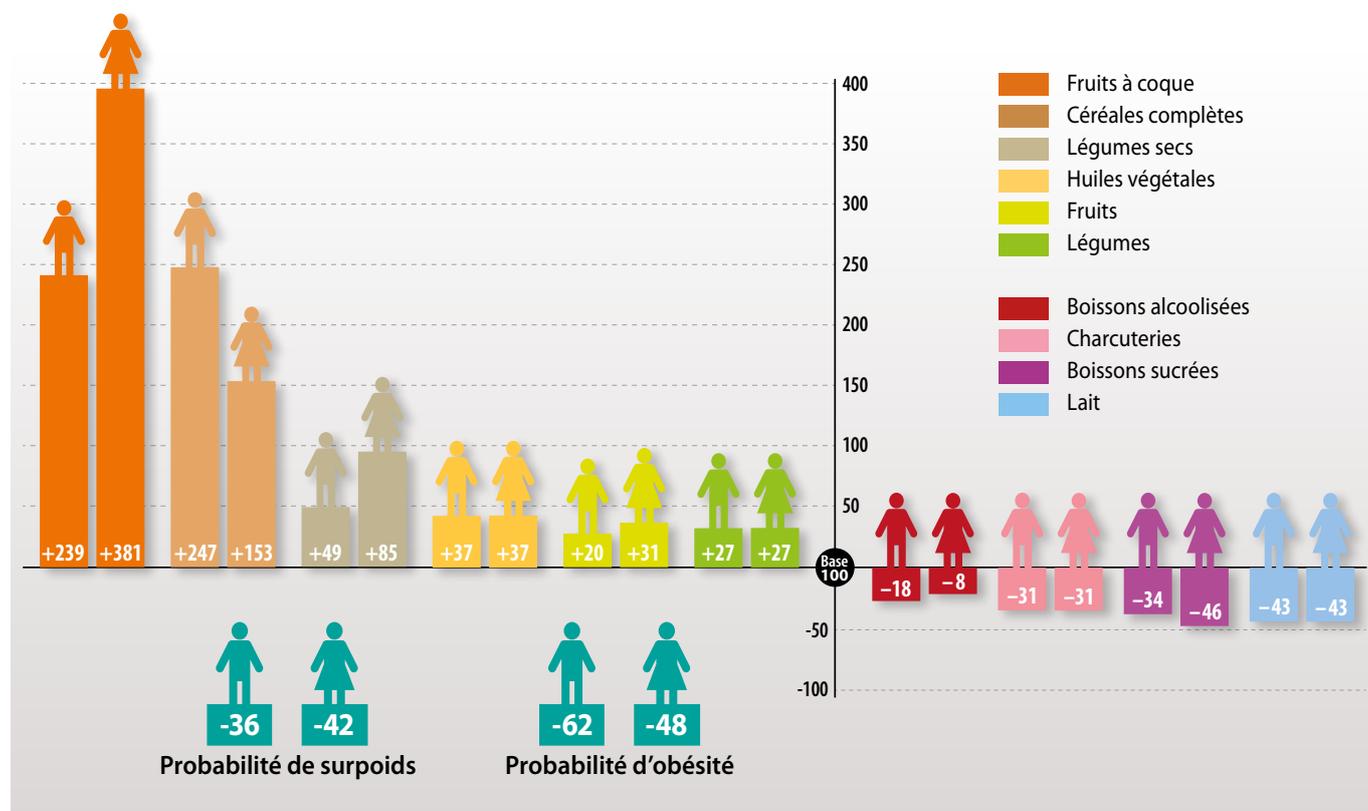
- la reconnaissance du problème, première étape indispensable car peu d'acteurs étaient jusqu'à très récemment conscients de son ampleur ;
- la reconnexion avec le cycle de production de l'agriculture, par exemple via des programmes de potagers dans les écoles ou en ville, pour comprendre l'origine de notre alimentation ;
- le réapprentissage de la cuisine et de « l'art d'accommoder les restes » ;
- la réduction des surconsommations ;
- la redistribution via notamment les banques alimentaires, qui ne mobilisent aujourd'hui que 0,3% des quantités perdues ;
- le recyclage de ce qui n'a pu être évité par les 5 R précédents, pour l'alimentation animale lorsque c'est possible, par compostage ou méthanisation sinon.

Le potentiel de réduction des pertes et gaspillage serait de 64 kg par habitant et par an, soit 58 % des quantités perdues au niveau de la distribution et de la consommation²².

Changer de régime

Si les politiques publiques s'accordent sur la nécessité de diminuer les surconsommations et les gaspillages, il n'en va pas de même sur le contenu de l'assiette, c'est-à-dire sur la proportion des différents aliments. Les principales controverses portent sur la consommation de viande et de produits laitiers, qui ne sont

pas de simples querelles de cuisine, et renvoient à des imaginaires différents. Peut-on identifier les impacts sur la santé d'un régime alimentaire moins carné ? Il existe de nombreux travaux allant dans ce sens. En France, c'est le programme BioNutriNet²³ qui le démontre le plus clairement.



• Comparaison des régimes entre consommateurs « Bio » et « non Bio » selon l'enquête NutriNet - Santé.

²² Voir « La grande [sur-] bouffe », Bruno Lhoste, Octobre 2012, Edition Rue de l'Echiquier. Objectif par ailleurs conforme à la résolution du Parlement Européen du 19 Janvier 2012 qui vise à réduire de moitié le gaspillage alimentaire à l'horizon 2025.

²³ BioNutriNet associe plusieurs équipes de recherche : l'équipe NutriNet-Santé (EREN, U1153 Inserm/Inra/Cnam/Université Paris 13), l'unité Nutrition, Obésité et Risque Thrombotique (NORT INSERM/INRA, Université

de la Méditerranée, Marseille) ; l'équipe « Alimentation et sciences sociales » (ALISS INRA, Ivry-sur-Seine) ; le laboratoire de Toxicologie Alimentaire TOXALIM (INRA, Toulouse) ; le département de Biochimie du CHU de Grenoble ; l'Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB) ; SOLAGRO et Bio Consom'acteurs.

L'étude permet sur une grande « cohorte » (groupes de sujets suivis pendant plusieurs années), de mesurer de façon précise la consommation d'aliments issus de l'agriculture biologique et de caractériser les consommateurs de produits Bio et les consommateurs d'aliments conventionnels. L'enquête montre que la cohorte « Bio » consomme nettement plus de fruits à coque, légumes secs, céréales complètes, fruits et légumes, et nettement moins de charcuteries, produits laitiers et boissons sucrées. Les apports énergétiques sont identiques dans les

deux groupes. On observe que les indicateurs de santé tels que la probabilité de surpoids ou d'obésité sont nettement améliorés²⁴.

Ce n'est pas tant la comparaison Bio / non Bio qui nous intéresse ici, c'est surtout la structure de la consommation. L'enquête prouve qu'il est possible d'être en bonne ou meilleure santé en consommant plus de céréales et de légumineuses, et 40 % de lait en moins.

Trouver un nouvel équilibre entre protéines animales et végétales

Les protéines animales représentent aujourd'hui 61 % de nos apports en protéines, soit environ 1 million de tonnes de protéines animales pour 640.000 tonnes de protéines végétales.

Or, la production de protéines animales est beaucoup plus impactante que celle de protéines végétales, puisqu'il faut entre 2 et 10 kg d'aliments végétaux pour produire 1 kg de viande. La France consacre ainsi 80 % de ses surfaces agricoles à l'alimentation animale : 35 % de prairies, 17 % de cultures fourragères, 15 % des surfaces de céréales et oléoprotéagineux destinés à l'alimentation animale, une majorité des céréales exportées (puisque'il s'agit de céréales fourragères utilisées en alimentation animale) ; sans compter les co-produits tels que le son ou les pulpes de betterave.

Du point de vue nutritionnel, une réduction de la part de protéines animales est possible. Selon l'ANSES, 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. C'était d'ailleurs la situation qui prévalait en France au début du XX^e siècle.

Afterres2050 propose donc un renversement de la part respective des protéines animales et des protéines végétales, soit une couverture de nos besoins protéiques par environ 60 % d'origine végétale et 40 % d'origine animale.

Les céréales représentent aujourd'hui l'une des premières sources de protéines, à jeu égal avec la viande, le lait vient en seconde position, suivi d'assez loin par les autres sources : poissons, œufs, fruits et légumes. L'assiette moyenne Afterres2050 voit la part des céréales augmenter, celle de la viande et du lait diminuer, et la consommation de poissons s'effondrer²⁵. Les légumineuses et fruits à coque prendraient une place nettement plus importante, avec un quintuplement par rapport à 2010.

Les protéines sont composées de 20 acides aminés dont 9 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. L'insuffisance d'un seul des AAI 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 9 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 Ca/j/personne. Selon l'ANSES, la consommation moyenne de calcium est de 930 mg Ca/j/personne ce qui est conforme aux recommandations du PNNS, et le lait en apporte environ la moitié.

De nombreuses controverses existent concernant les apports en calcium. Dans plusieurs pays, comme en Grande-Bretagne, une consommation de 700 mg Ca/j/personne est conseillée par le ministère de la santé (National Health Service). La Harvard School of Public Health, s'appuyant sur des études de long terme, recom-

mande de ne consommer qu'un seul produit laitier par jour²⁶. L'OMS estime suffisante une consommation moyenne de 400 à 500 mg Ca/j/personne si le régime alimentaire est équilibré. Au Japon, la dose moyenne est de 300 mg Ca/j/personne, sans que l'on observe de fréquence particulière de fracture osseuse.

Plusieurs travaux montrent qu'un régime moins riche en protéines animales nécessite un apport moindre en calcium du fait des « fuites » induites.

Le tabac, la surconsommation d'alcool et l'absence d'exercice physique seraient aussi des éléments défavorables à une bonne valorisation des quantités ingérées et à la prévention de l'ostéoporose, et inversement un apport suffisant de vitamines D et K

²⁴ Les résultats préliminaires ont été publiés dans la revue PlosOne : Emmanuelle Kesse-Guyot et al., Profiles of Organic Food Consumers in a Large Sample of French Adults: Results from the Nutrinet-Santé Cohort Study, PlosOne 10.1371/journal.pone.0076998, 18 Octobre 2013.

²⁵ La chute de la consommation de poisson est uniquement due à l'effondrement possible de la ressource.

²⁶ Voir <http://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/calcium-full-story>

est nécessaire. Par ailleurs, les produits laitiers n'ont pas le monopole du calcium : amandes, épinards, brocolis, noix, oranges, noisettes, dattes, en sont d'excellentes sources²⁷. Sans oublier l'eau, puisque certaines eaux minérales en contiennent autant que le lait. Afterres2050 propose de réduire la consommation de

lait et produits laitiers de 40 %, ce qui correspond aux observations du programme BioNutriNet. Soit 1 à 2 produits laitiers par jour plutôt que les 3 recommandés par le PNNS, le reste étant apporté par une alimentation variée.

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, une réduction de 40 g de l'apport de protéines animales peut ramener ce besoin en calcium à seulement 600 mg.

L'assiette Afterres2050

Dans Afterres2050, les besoins physiologiques par individu resteraient stables, voire seraient en légère diminution si l'indice de masse corporelle (IMC) revenait à son niveau de l'an 2000. On a vu que les surconsommations peuvent être fortement diminuées : les quantités ingérées par personne diminueraient

de 10 %. 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.

g/j/adulte	2010	2050			
		Tendanciel	Afterres	SAB	REP
Céréales	281	315	340	340	309
Pommes de terre	58	64	49	49	54
Sucre	21	23	19	19	19
Graisses Animales	11	8	8	8	8
Abats	3	1	1	1	1
Légumineuses	10	15	41	41	15
Huiles	15	19	17	17	17
Légumes	139	146	170	170	160
Fruits	160	168	196	196	184
Boissons alcooliques	155	155	113	113	124
Stimulants (café, thé, cacao)	259	233	233	233	233
Épices	19	17	17	17	17
Viande	185	185	94	89	139
Produits laitiers	235	223	122	117	176
Œufs	15	15	11	10	13
Poisson & Fruits de Mer	31	8	8	8	8
TOTAL	1 598	1 595	1 439	1 428	1 477

- Evolution de l'assiette Afterres d'ici à 2050 – quantités ingérées²⁸.

En termes de disponibilités alimentaires (c'est-à-dire les denrées agricoles achetées, en « équivalent à la production »²⁹), celles-ci diminueraient de 2 % puisque la population augmente

de 12 %, pour atteindre 72 millions d'habitants³⁰, alors qu'elles augmenteraient de 13 % dans le scénario tendanciel.

²⁷ Voir les tables CIQUAL : <https://pro.anses.fr/TableCIQUAL/index.htm>

²⁸ Au sens « INCA » : voir en annexes « Dans les arcanes comptables de la bioéconomie ».

²⁹ En comptant au sens des bilans d'approvisionnement de la FAO : voir en annexes « Dans les arcanes comptables de la bioéconomie ».

³⁰ Scénario INSEE, Scénario central de projection, publié fin 2010 - « Estimations de population et projection de population 2007-2060 ».

Consommation alimentaire, kt/an	2010	2050			
		Tendanciel	Afterres	Variante SAB	Variante REP
ENSEMBLE	61 000	70 000	58 000	57 000	61 000
Céréales	7 900	10 000	10 000	10 000	9 400
Pommes de terre	3 500	4 400	3 200	3 200	3 500
Sucre	2 400	3 000	2 400	2 400	2 400
Légumineuses et fruits coque	380	660	1 900	1 900	660
Huiles et graines oléagineuses	1 500	2 100	1 900	1 900	2 000
Légumes	6 500	7 800	8 600	8 600	8 100
Fruits	7 100	8 600	9 400	9 400	8 900
Stimulants, épices	640	660	630	630	630
Boissons alcooliques	5 200	6 000	4 200	4 200	4 600
Viande, abats, graisses animales	7 100	7 600	4 300	4 100	5 800
Lait	16 000	17 000	9 400	9 100	14 000
Œufs	840	980	680	620	810
Produits aquatiques	2 200	770	630	630	630

- Disponibilités alimentaires³¹ par catégorie de produit et par scénario.

La variante REP est plus proche, sur le plan du régime alimentaire, du scénario tendanciel, en termes de part de protéines animales et de consommation de lait. Les besoins énergétiques sont similaires dans les trois variantes : nous avons besoin de notre bol d'essence quotidien, soit un tiers de litre.

Indicateurs		2010	2050			
			Tendanciel	Afterres	SAB	REP
Part des protéines végétales		35 %	41 %	59 %	60 %	46 %
Consommation protéines	g/adulte.jour	120	115	94	92	100
Besoin protéines	g/adulte.jour	57,9	64,7	59,1	59,1	59,1
Surconsommation protéines		107 %	77 %	59 %	56 %	69 %
Apports énergétiques	MJ/jour	16,0	16,7	14,9	14,8	15,0
Besoins énergétiques	MJ/jour	12,1	13,4	12,2	12,2	12,2
Surconsommation énergétique		32 %	24 %	22 %	21 %	22 %
Produits laitiers	g/adulte.jour	235	223	122	117	176

- Principaux indicateurs des régimes alimentaires.

Et les produits de la mer ?

Chaque Français consomme chaque année un peu de moins 35 kg de produits « aquatiques » : crevettes, saumon, morue, thon... et coquillages dont les 2/3 sont importés. L'offre mondiale est estimée par la FAO à 17 kg/hab/an. En mer, les prélèvements (qui stagnent depuis 10 ans) 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, et que leur alimentation est elle-même composée de produits de la mer.

Hypothèses clés

- Diminution des surconsommations de un tiers
- Diminution des pertes et gaspillages de 50 %
- Maintien de l'indice de masse corporelle (IMC)
- Inversion du rapport protéines animales / protéines végétales

³¹ En équivalent à la production.

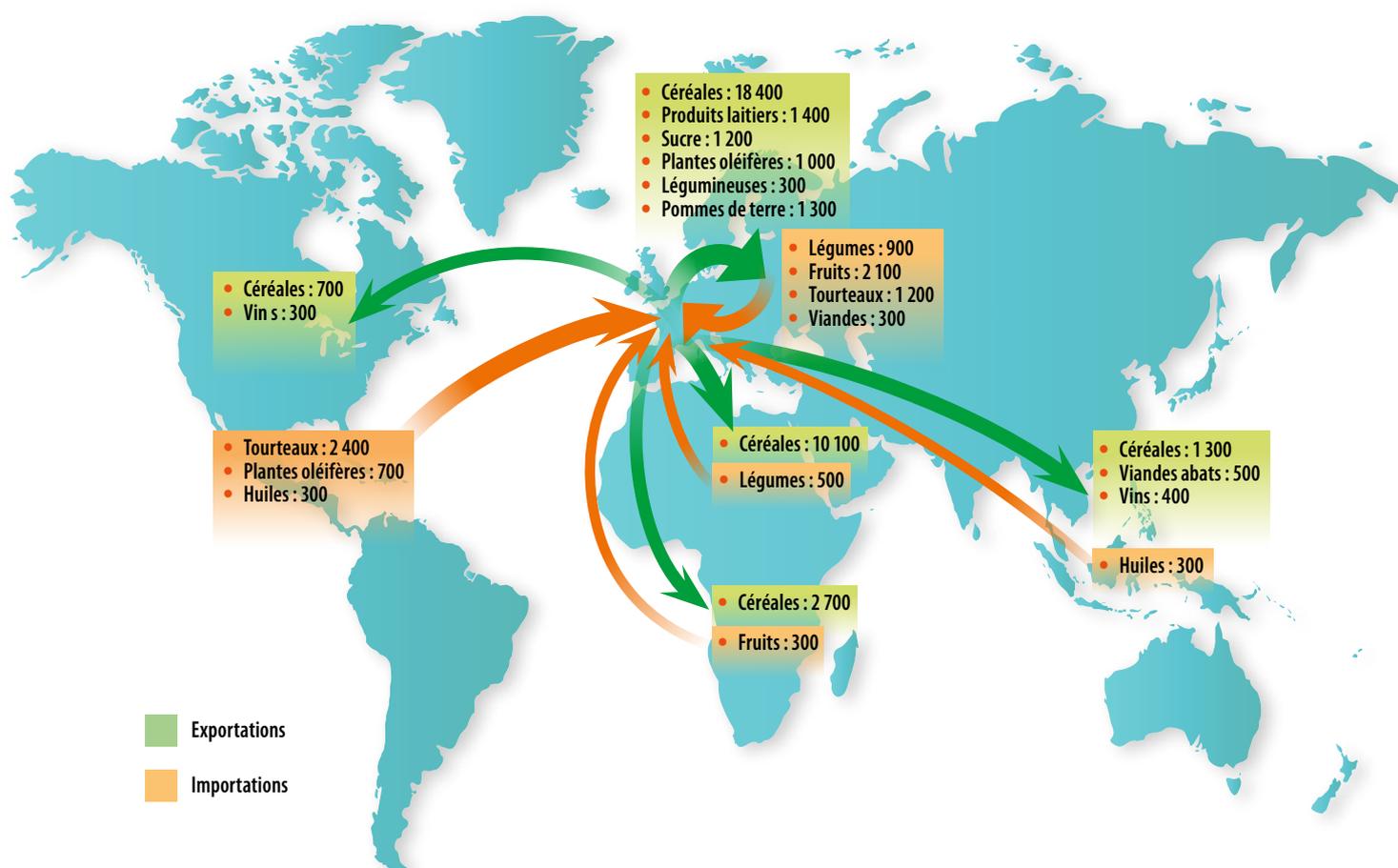
Prendre notre juste part dans la sécurité alimentaire mondiale

Une grande puissance exportatrice de denrées agricoles

La France compte parmi les 5 premiers exportateurs mondiaux de produits agroalimentaires. Elle exporte 59 millions de tonnes de produits agricoles et en importe 28³². Le solde excédentaire est de 31 millions de tonnes, et les céréales en représentent l'essentiel avec 33 millions de tonnes³³, dont 56 % vont vers l'Europe et 30 % vers l'Afrique du Nord et le Proche Orient.

Les autres postes significatifs sont :

- les importations de co-produits (tourteaux de soja) en provenance d'Amérique et d'Europe,
- les importations de fruits en provenance de l'Europe (Espagne, Italie),
- les importations de légumes depuis l'Europe et l'Afrique du Nord (Maroc),
- les exportations de lait, de sucre, de pommes de terres vers l'Europe,
- les exportations de plantes oléifères vers l'Europe (colza) et les importations depuis les Amériques (soja),
- un solde excédentaire de boissons alcooliques (vins, Champagne),
- un solde déficitaire de stimulants (café, thé, cacao),
- un solde globalement équilibré des produits animaux (viandes, abats, graisses animales) avec des situations contrastées selon les régions du monde,
- un solde déficitaire en poissons,
- on peut également ajouter un solde déficitaire des produits issus de la forêt, bois et papier.



- Solde exportateur (exportations moins importations) : Principaux flux par catégorie de produits et par région – milliers de tonnes par an. (Cf : Tableau détaillé en page 98)

Le « top 21 » des principaux postes (produit x pays représentant plus de 500.000 tonnes en 2011, soit à l'exportation, soit à l'importation), qui représentent à eux seuls le tiers de flux échangés dans un sens comme dans l'autre (29 millions de tonnes sur un total de 86 millions de tonnes soit exportées, soit importées) fait bien ressortir l'importance des exportations de blé vers l'Algérie, le Maroc, l'Égypte, mais aussi les différents pays d'Europe, et les importations de tourteau de soja du Brésil.

³² Moyennes sur la période 2007-2011. Ces données sont issues de la base de données Commerce de la FAO et sont exprimées en quantités de produits commercialisés « tels quels », et non en « équivalent primaire ». Voir le chapitre « Dans les arcanes comptables de la bioéconomie ».

³³ Le solde sur les seules céréales est supérieur au solde total : ce n'est pas une erreur car le solde total comprend des composantes négatives.

Pays	Produit	Milliers de tonnes	Export / Import
Algérie	Blé	5 772	Export
Maroc	Blé	2 326	Export
Brésil	Tourteaux de soja	2 179	Import
Italie	Blé	2 091	Export
Espagne	Maïs	2 080	Export
Belgique	Blé	1 535	Export
Pays-Bas	Maïs	1 427	Export
Belgique	Orge	1 380	Export
Pays-Bas	Blé	1 289	Export
Pays-Bas	Orge	1 072	Export
Italie	Bovins	1 021	Export
Allemagne	Colza	996	Export
Égypte	Blé	908	Export
Allemagne	Blé	805	Export
Espagne	Blé	799	Export
Allemagne	Orge	684	Export
Belgique	Maïs	681	Export
Portugal	Blé	610	Export
Espagne	Pommes de terre	588	Export
Allemagne	Maïs	568	Export
Cuba	Blé	554	Export

- « Top 21 » des principaux flux d'exportation ou d'importation (dépassant 500 kt), de la France, 2011.

Nourrir le monde ?

Selon l'indicateur et le périmètre adopté, le solde de la balance exportation – importation est positif ou négatif. Il est positif quand on considère le périmètre « produits agricoles » et (mais à des degrés divers) les indicateurs « masse », « énergie », « carbone ». L'indicateur « valeur économique » doit tenir compte des subventions allouées directement ou indirectement aux exportations. Il est négatif si l'on inclut l'ensemble des produits issus de la photosynthèse (y compris les produits forestiers, bois, caoutchouc, coton, etc.) pour l'indicateur « surface ». Notre « empreinte » en surface 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 organisations 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.

Afterres2050 et les scénarios mondiaux

Pour raisonner sur l'évolution des échanges internationaux, Afterres2050 s'appuie sur des travaux de prospective à l'échelle mondiale. Il se veut cohérent avec le scénario « Agrimonde 1 » élaboré par l'INRA et le CIRAD³⁴. Deux versions ont été élaborées :

- Le scénario Agrimonde G0, lui-même issu du scénario Global Orchestration du Millenium Ecosystem Assessment³⁵, 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, et ses conséquences environnementales paraissent non soutenables.

- Le scénario Agrimonde 1 décrit une transition vers une demande alimentaire et une production agricole durables

³⁴INRA, CIRAD, 2009, Agrimonde. Agricultures et alimentations du monde en 2050 : scénarios et défis pour un développement durable.

<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.

³⁵www.millenniumassessment.org.

(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.

Un solde exportateur encore largement positif

Le solde exportateur net est un résultat issu de la modélisation, comme étant la différence entre la production sur le territoire national, et la demande intérieure. Il est exprimé en quantités (masses), en valeur énergétique et en valeur gaz à effet de serre.

Solde exportateur net, en milliers de tonnes de produits bruts	2010	2050			
		Tendanciel	Afterres	Variante SAB	Variante REP
ENSEMBLE	27 000	15 000	22 000	9 100	32 000
Céréales et maïs	31 000	28 000	20 000	12 000	31 000
Pommes de terre	1 300	1 300	310	-770	220
Produits laitiers	6 900	7 300	6 900	7 700	4 000
Sucre	1 500	1 600	2 200	1 100	2 100
Viande, abats, graisses animales, œufs	-14	-2 200	-72	310	-1 400
Boissons alcooliques	1 500	600	1 000	390	1 200
Tourteaux, huiles, oléoprotéagineux	-4 200	-7 500	560	-2 500	2 500
Café, cacao, thé, épices, stimulants	-640	-650	-630	-630	-630
Fruits et légumes	-8 500	-13 000	-7 600	-7 900	-6 300
Poissons et produits halieutiques	-2 200	-670	-640	-640	-640
Valeur énergétique (PJ)	370	260	310	120	470
Valeur GES du solde (MtéqCO ₂) ³⁶	8	-7	5	2	4

- Evolution du solde net des exportations.³⁷

Le scénario Afterres2050 parvient à maintenir le solde exportateur à un niveau un peu inférieur à celui d'aujourd'hui. Le contenu du solde exportateur est différent :

- les exportations de céréales diminuent (diminution de la production),
- celles des produits laitiers se maintiennent,
- les exportations de sucre augmentent (diminution des usages non alimentaires),
- le poste oléagineux passe en solde positif (diminution des importations de soja),
- le bilan viande reste globalement proche de l'équilibre,
- les importations de fruits et légumes diminuent (augmentation importante de la production),
- la valeur énergétique du solde varie peu,
- la valeur GES du solde reste positive mais diminue.

Le scénario tendanciel quant à lui ne parvient pas à maintenir les exportations au niveau actuel du fait de l'augmentation de la consommation et de la stagnation de la production. Aussi le bilan se dégrade, et le solde devient négatif en valeur GES (bien qu'il reste positif en valeur énergétique). Dans la variante SAB, le solde exportateur diminue fortement en quantités et en valeur énergétique, et la valeur GES devient presque nulle. C'est la variante REP qui offre le solde en valeur énergétique le plus élevé, tandis que son solde en GES est comparable à celui d'Afterres2050. Le solde exportateur pour les principaux groupes de produits et de pays, esquisse la place que pourrait prendre la

France dans les échanges internationaux et les pistes à explorer. On note en particulier la diminution forte des exportations de céréales vers l'Europe, qui sont principalement des céréales dites fourragères, utilisées pour nourrir les animaux. D'une manière générale les exportations vers l'Europe obéissent à la même logique que l'évolution des besoins en France : moins de céréales pour les animaux, diminution de la consommation de viande et de lait, maintien de la consommation de fruits et légumes. Rappelons que l'Europe produit entre 400 et 500 millions de tonnes de céréales tous les ans, dont la moitié est utilisée pour l'alimentation animale, et qu'elle est exportatrice nette. Une diminution de la demande intérieure au niveau Européen similaire à celle qui se produirait en France, permettrait de se passer en très grande partie des échanges entre pays européens. Les exportations de céréales vers l'Afrique du Nord, le Proche Orient, pourraient alors augmenter de 60 %, tandis que les importations de légumes diminuent et que les exportations de légumineuses augmentent : la valeur du solde énergétique vers l'espace méditerranéen augmente de 64 % globalement. Inversement, les exportations de céréales vers l'Afrique Sub-Saharienne diminuent : le parti-pris est que les agriculteurs africains peuvent et doivent nourrir leur continent.

³⁶ La masse, le contenu énergétique et la valeur GES des produits ne sont pas proportionnels, aussi un bilan positif pour un indicateur ne signifie pas automatiquement qu'il soit positif pour un autre. En particulier, le contenu carbone des produits importés (fruits et légumes) est plus élevé que celui des produits exportés (céréales).

³⁷ Solde issu du bilan d'approvisionnement. Attention, ce tableau n'est pas comparable aux tableaux qui indiquent les soldes par régions du monde, qui sont quant à eux basés sur la nomenclature au sens du commerce. Voir en annexes « Dans les arcanes comptables de la bioéconomie ».

Enfin les importations d'oléoprotéagineux, y compris huiles et tourteaux, en provenance des Amériques chutent fortement. Les oléagineux deviennent le second poste exportateur, sous l'effet non seulement de la diminution des importations en lien

avec l'évolution du cheptel, mais également sous l'effet de la diminution de l'utilisation des huiles pour l'énergie. Les autres postes représentent de faibles volumes, comme c'est le cas aujourd'hui.

Solde exportateur par principaux groupes de produits et de pays, FAO	Afrique du Nord, Proche Orient	Afrique Subsaharienne	Amériques	Asie, Océanie	Europe	TOTAL
Céréales	16 000	1 000		1 000	3 000	22 000
Produits laitiers ³⁸	200	200		500	1 000	2 000
Sucre					1 000	2 000
Légumes					-1 000	-1 000
Fruits					-2 000	-2 000
Plantes oléifères et sous produits (huiles, tourteaux)					1 000	1 000
Légumineuses	1 000				1 000	2 000
Total, milliers de tonnes	16 800	1 200	-400	2 000	5 200	24 800
Valeur énergétique du solde exportateur (PJ)	230	18	-4	25	80	350
Poids dans le total des exportations françaises	66%	5%	-1%	7%	23%	100%

- Répartition possible des soldes exportateurs par catégorie de produits et par région dans Afterres2050.

Hypothèses clés

- Maintien du solde exportateur en produits laitiers
- Maintien d'un solde équilibré pour les produits animaux
- Augmentation des exportations de 60 % vers l'espace méditerranéen
- Maintien des exportations globales vers l'Asie (en légère augmentation) et l'Afrique sub-saharienne (en diminution)
- Division par 2 des exportations vers le reste de l'Europe (céréales fourragères) et réduction d'un tiers des importations (fruits et légumes)

³⁸ Rappelons qu'il s'agit ici des quantités « telles quelles » et non de l'équivalent primaire. Pour une correspondance avec les bilans d'approvisionnement, il faut multiplier environ par 3,6 pour trouver la quantité de lait correspondante.

Ateliers 2050

Cultiver
les végétaux

Repenser les systèmes de cultures

L'agrosystème pensé comme un écosystème

Les pratiques et systèmes qualifiés du terme générique d'agroécologie partagent en commun une vision holistique ou systémique d'un agrosystème, considéré avant tout comme un écosystème, c'est-à-dire qu'il est régi par un jeu d'interactions complexes entre le sol et les organismes vivants, végétaux, animaux, microorganismes, en compétition ou en symbiose. La doxa dominante de la seconde moitié du XX^e siècle considérait l'agrosystème comme un support physique. Les défauts du sol (battance, compaction, absence de nutriments, excès ou insuffisance d'eau) pourront être compensés par des solutions exogènes : travail mécanique, fourniture de nutriments d'origine synthétique (azote) ou minière (phosphore), produits de défense des végétaux, génie génétique, drainage, irrigation. D'autres courants de pensée considèrent que le sol doit être pensé comme un écosystème où se déroulent des phénomènes

complexes d'interactions, d'équilibres, de dynamiques à la fois biologiques, chimiques et physiques, et que les pratiques agricoles consistent à piloter ces mécanismes et non à les dominer. Ces deux points de vue peuvent être situés sur une échelle allant de « l'artificialisation » (l'extrême étant la culture hydroponique par exemple) au « pilotage », traduisant deux visions diamétralement opposées de l'agriculture et plus largement du rapport entre l'homme et la nature³⁹. Toutes les nuances pouvant exister et même coexister avec des degrés d'artificialisation ou de pilotage plus ou moins poussés. La tendance actuelle est celle d'un rééquilibrage au profit du pilotage, ce qu'englobe le terme d'agroécologie par exemple, sous l'effet d'une prise de conscience de certaines limites de l'agriculture dite « conventionnelle » : impacts sanitaires et environnementaux, et dépendance aux intrants.



Découvrez sur OSAE des agricultrices et des agriculteurs qui font de l'agroécologie au quotidien. Conçue et animée par Solagro, en accès libre, OSAE est une vidéothèque de témoignages réalisés en « bord de champs ». C'est aussi une plateforme collaborative qui facilite les échanges et l'essaimage des savoirs faire. Couverts vivants, mélanges prairiaux, pâturage tournant dynamique, diversité variétale : retrouvez toutes ces pratiques et bien d'autres ainsi que les résultats obtenus autant par des adeptes de la première heure, que par de jeunes convertis à l'agroécologie.

Le sol, pellicule de la vie sur terre

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

Le sol est le lieu d'une activité biologique intense, qui assure le recyclage des matières organiques et constitue un maillon central dans la régulation des grands cycles planétaires du carbone et de l'azote. Il constitue un système vivant complexe en interface et en interaction continue avec les autres milieux (atmosphère, lithosphère, hydrosphère).

Les sols agricoles fertiles constituent une ressource naturelle qui ne peut se renouveler que très lentement, car leur fertilité dépend de propriétés héritées de longs cycles géologiques. Leur préservation face à leur réduction en surface (artificialisation), à la dégradation de leur qualité (pollutions par les éléments métalliques ou organiques, érosion hydraulique ou éolienne, salinisation, diminution de leur teneur en matière organique) voire à leur destruction (désertification, glissement de terrain) est préoccupante, elle est devenue en enjeu crucial⁴⁰. En Europe, l'érosion hydrique entraîne la perte de 2,46 tonnes de terre par hectare et par an (terres agricoles et forêt), alors qu'il

ne s'en forme que 1,4 t/ha.an⁴¹. Quatre millions d'hectares sont plus particulièrement menacés.

Les politiques agricoles ont permis de réduire ces pertes de 20 % en une décennie, mais le phénomène reste préoccupant. En France, la moyenne sur les terres arables est de 2,78 t/ha en absence de mesures agri-environnementales, qui sont capables de réduire cet impact de près de 40 %.

Les sols, puits de carbone

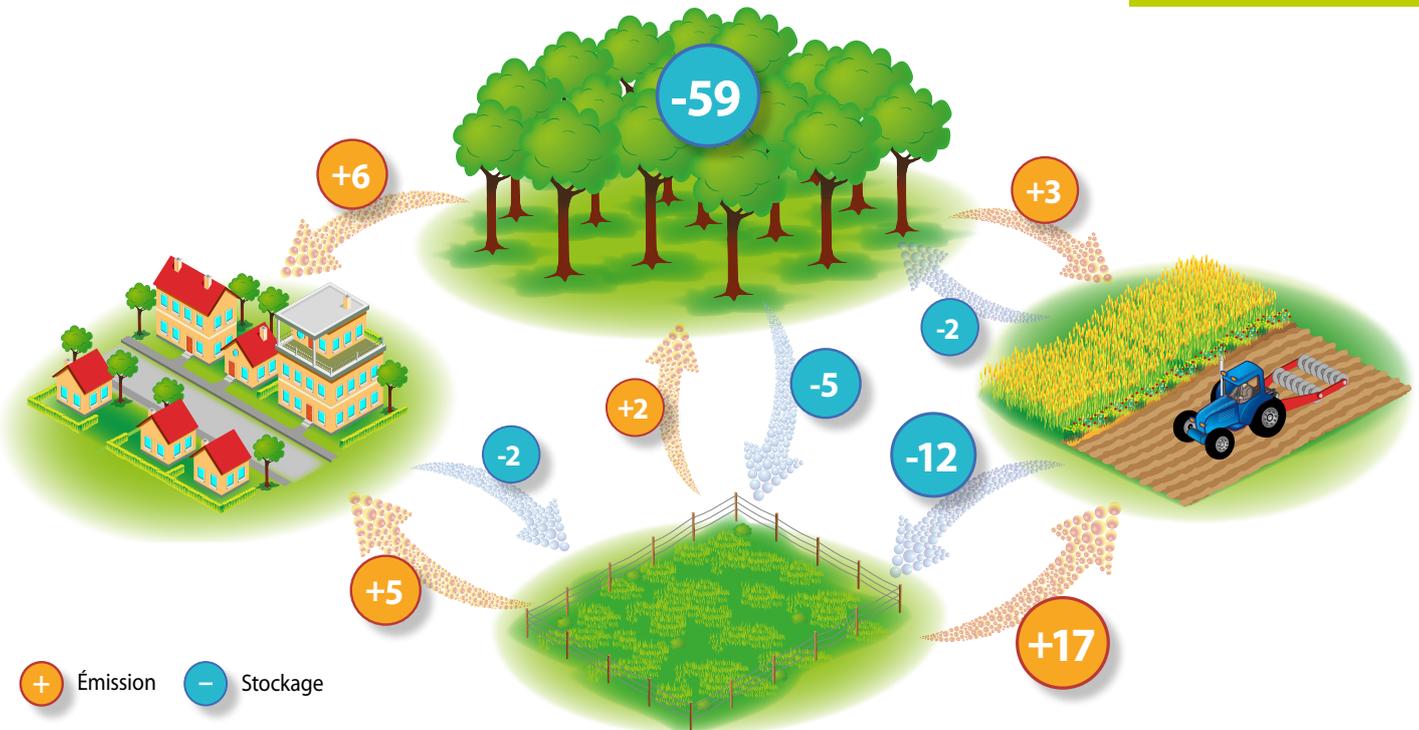
Les sols et les écosystèmes sont également des « puits de carbone » : en 2013, ils ont stocké l'équivalent de 47 MteqCO₂⁴² soit 10 % des émissions totales brutes de GES. Ce gain est dû principalement à la forêt.

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

³⁹ Larrère Raphaël, Agriculture : artificialisation ou manipulation de la nature ? In Cosmopolitiques n°1, Juin 2002.
⁴⁰ Voir les documents préparatoires à la mise en place d'une future Directive Cadre sur les Sols : Soil Thematic strategy – Atlas of soil biodiversity.

⁴¹ The new assessment of soil loss by water erosion in Europe, P. Panagos et al., Joint Research Center. Environmental Science & Policy, 54 (2015) 438-447. Publié le 25 Août 2015.

⁴² Incluant CH₄, N₂O, apports de carbone minéral (chaux) et brûlage. France entière. Source : inventaire CITEPA, format CCNUCC : Convention Cadres des Nations Unies sur le Changement Climatique. Octobre 2015.



- Emissions de CO₂ par type d'espace et lors des changements d'affectation, en millions de tonnes équivalent CO₂ (valeurs 2013 - Source CITEPA 2015)⁴³. (Cf: Tableau détaillé en page 99)

Boucler le cycle des nutriments

L'azote

L'azote porte mal son nom : celui-ci signifie « sans vie », pourtant l'azote est un composant essentiel du vivant. Sans azote, pas de protéines. L'azote est abondant puisqu'il constitue 79% de notre atmosphère, mais il n'est pas assimilable par les plantes sous sa forme gazeuse. Celles-ci absorbent de l'azote sous la forme dite minérale : nitrate et ammonium. Jusqu'à la révolution Haber-Bosch⁴⁴, les seules sources d'azote utilisables en agriculture étaient apportées par les légumineuses. La fixation symbiotique joue encore un rôle important dans le bilan azote national, avec près de 400 000 tonnes d'azote fixées chaque année, mais les engrais minéraux de synthèse en représentent beaucoup plus : 2,3 millions de tonnes par an.

La disponibilité en quantités industrielles d'azote a été l'une des causes majeures de l'augmentation des rendements au cours du XX^{ème} Siècle. Avec comme contrepartie des phénomènes de pollution des eaux et de l'air. Une partie de l'azote apportée au sol se volatilise sous forme d'ammoniac, précurseur de particules fines. Une autre partie se retrouve dans les eaux sous forme de nitrate. Ammoniac et nitrate sont consommés lors des réactions de nitrification et dénitrification qui se déroulent dans les milieux naturels et finissent par retrouver leur état initial de diazote atmosphérique. Mais au passage, de petites quantités, de l'ordre du pourcent, s'échappent sous la forme de protoxyde d'azote, ou N₂O. Le N₂O est connu pour ses applications médicales, c'est aussi le gaz hilarant, mais c'est surtout le troisième grand gaz à effet de serre, avec un pouvoir de réchauffement global de 300 fois celui du gaz carbonique. La production d'engrais azotés est aussi une source d'émission de gaz à effet de serre, puisqu'elle consomme du gaz naturel.

Le cycle de l'azote part des sources primaires que sont la fixation symbiotique et les engrais minéraux, soit 2,7 millions de tonnes par an. Les flux arrivant au sol sont bien supérieurs, de près de 6,1 millions de tonnes. Aux sources primaires s'ajoutent en effet

des flux de recirculation importants, de 3,5 millions de tonnes d'azote provenant des effluents d'élevage et des déjections animales à la pâture et des résidus de culture, ainsi que des redépôts de l'ammoniac volatilisé. Chacun de ces flux génère des pertes par volatilisation ou lessivage, avec les fuites associées de N₂O.

Les productions agricoles nettes, utilisées en alimentation humaine ou exportées, représentent 1,5 million de tonnes d'azote, soit 8 millions de tonnes de protéines. L'objectif n'est pas de réduire la production de protéines, mais de réduire les pertes d'azote au cours du cycle, et de remplacer, au moins en partie, l'azote de synthèse par l'azote d'origine symbiotique.

Le phosphore, élément critique

Le phosphore est relativement peu abondant dans la lithosphère et absent de l'atmosphère. Il s'agit d'une ressource géologique non renouvelable dont les réserves sont estimées entre 100 et 250 ans. Le phosphore est recensé comme l'une des 20 matières premières critiques, et la seule qui concerne l'alimentation⁴⁵. Le phosphore est un élément assez peu mobile : à terme, la fraction non assimilée par les plantes peut être perdue par érosion et se retrouver dans les eaux de surface, contribuant à l'eutrophisation des milieux aquatiques, mais surtout finir au fond des océans, pour ne revenir sur la terre ferme qu'au terme de la prochaine ère géologique.

La conservation du phosphore constitue un enjeu crucial, à la fois pour lutter contre la pollution et pour préserver les ressources non renouvelables : d'où l'importance de protéger les sols de l'érosion et de recycler intégralement le phosphore.

⁴³ Le CITEPA ne comptabilise pas le stockage de carbone dans les prairies restant prairies.

⁴⁴ Production d'ammoniac par synthèse d'azote atmosphérique et d'hydrogène issu du méthane.

⁴⁵ « La planète a atteint ses limites », Le Monde, 15 Janvier 2015.

La diversité, facteur de production

Allonger les rotations, diversifier les cultures dans le temps

La mixité des productions et l'allongement des rotations, à l'échelle de la ferme ou à l'échelle du territoire, 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 :

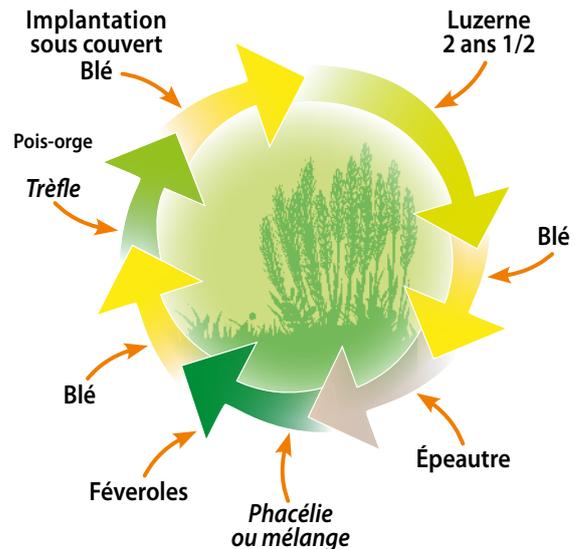
- de la pression des adventices et donc des besoins de désherbage du fait d'une alternance entre graminées et dicotylédones, et de l'alternance des périodes de cultures (des cultures d'été et des cultures d'hiver),
- de la pression parasitaire par diminution des maladies liées au sol et des ravageurs, en cassant leurs cycles puisque ceux-ci sont inféodés à une culture ou une famille,
- 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 de deux-tiers de céréales à pailles et un tiers d'oléoprotéagineux, d'où une rotation sur 3 ans, parfois moins. Les assolements et rotations des systèmes performants s'étalent sur 6 à 8 ans (avec 6 à 8 productions dites principales) et les légumineuses couvrent un tiers au moins de l'assolement.

Associer les cultures et les variétés dans une même parcelle

Les systèmes performants associent différentes cultures sur une même parcelle, soit dans le temps (cultures intermédiaires), soit sur une même surface (cultures associées), ou soit dans un plan vertical (agroforesterie).

L'association de plusieurs variétés (de blé par exemple), y compris des variétés anciennes ou dites « paysannes » en sein d'une même parcelle est une voie explorée actuellement pour conso-



- Exemple de rotation longue et assolement équilibré, piliers de la production intégrée (Viaux, 2009).

lider et stabiliser les rendements des cultures, et rendre l'agrosystème plus résilient. Dans ces systèmes associés, le rendement de la culture dite principale est dégradé par rapport à une situation où elle occupe seule le temps et l'espace (culture pure). Mais le rendement global de la parcelle mesurable par le coefficient de rendement équivalent (CRE) est augmenté du fait :

- de l'optimisation de la photosynthèse : il y a toujours une plante en place (ou un arbre) pour capter du CO_2 et stocker du carbone,
- des synergies générées entre les productions qui favorisent 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.

Mesurer l'impact de l'association des productions : le coefficient de rendement équivalent (CRE)

Afin de comparer la performance de l'association de cultures à celle des mêmes espèces cultivées séparément, on utilise le coefficient de rendement équivalent défini comme la surface relative nécessaire en culture pure pour obtenir la même production que l'association. Un CRE supérieur à 1 indique que l'association est plus performante que les cultures pures.

Exemple : si l'on ajoute la production d'une parcelle de 1 ha de blé avec celle d'une autre parcelle de 1 ha de pois, on obtient 7 tonnes de blé et 3 tonnes de pois, soit 10 tonnes au total. Si l'on associe le blé et le pois sur ces mêmes 2 hectares, le rendement pur en blé sera moindre, par exemple 5 tonnes par ha, celui de pois également, de 2 tonnes. Mais au total on obtient 10 tonnes de blé et 4 tonnes de pois. Soit une production totale de 14 tonnes, supérieure à celle du système en cultures pures. Le CRE est de 1,4 : il faut 40 % de surfaces supplémentaires en cultures pures pour obtenir la même production en cultures associées.

Mobiliser les facteurs de production vivants

La lutte biologique

La lutte biologique repose sur la présence de populations d'animaux prédateurs ou parasites capables de limiter la population des ravageurs des cultures. On parle d'auxiliaires des cultures ou d'antagonistes pour les premiers, et de bioagresseurs pour les seconds. Historiquement, la principale voie de lutte biologique a été inventée en Californie dans les années 1930. Elle consiste à introduire des espèces telles que les larves de coccinelles pour lutter contre les pucerons : on parle de lutte biologique par augmentation. La lutte biologique par conservation

et gestion des habitats (LBCGH) revêt, à la différence de la lutte biologique par augmentation, un caractère permanent et plus durable, puisque l'on n'introduit pas des espèces d'animaux, mais que l'on cherche à maintenir et à stimuler les ennemis naturels des bioagresseurs déjà présents dans l'environnement, et au contraire à défavoriser ces derniers. Cette voie de la lutte biologique s'intéresse donc avant tout aux plantes non cultivées présentes dans l'environnement des cultures (le site HERBEA en présente plus d'une cinquantaine) aptes à offrir

habitat et nourritures aux auxiliaires, ainsi qu'aux pollinisateurs. Les infrastructures agroécologiques (IAE) accueillant ces plantes sont diverses : haies, bandes enherbées, jachères ou prairies fleuries, bosquets, pré-vergers, souvent en lien avec des éléments paysagers, qui assurent la continuité et l'intégration spatiale et temporelle de ces infrastructures à l'échelle du territoire. Pour fonctionner correctement, les IAE doivent repré-

senter au moins 5 % de la SAU, les parcelles ne doivent pas être trop larges pour pouvoir assurer la connectivité de l'espace cultivé avec les IAE. Les IAE ne doivent pas recevoir de produits phytosanitaires : on comprend que si les pesticides sont un facteur de production agricole, ils viennent contrarier cet autre facteur de production qu'est la biodiversité.



Comme OSAE, HERBEA est une plateforme en ligne, animée par Solagro. Sa raison d'être : la promotion de la lutte biologique par conservation des habitats. La lutte biologique, c'est l'expression du dicton suivant : « *les ennemis de mes ennemis sont mes amis* ». HERBEA indique les plantes à mettre en place à proximité des cultures pour favoriser leurs auxiliaires, pour recréer des chaînes alimentaires en capacité de réguler les ravageurs. Destinée aux agriculteurs, aux conseillers, aux enseignants, HERBEA compile les observations de plus de 200 références techniques et scientifiques.

Légumineuses et maîtrise de la fertilisation

L'azote, élément clé de la productivité agricole, provient essentiellement de deux sources : la production d'engrais synthétiques par combinaison d'azote atmosphérique et d'hydrogène issu du gaz naturel, ou la fixation symbiotique : par les légumineuses annuelles comme les pois, pois chiche, haricots verts, haricots secs, fèves, féveroles, lentilles, soja, trèfle, lupin, luzerne, genêt, mais aussi arbres et arbustes tels que robinier, acacia, aulne, argousier... - et également certains micro-organismes du sol (azotobacter). Plantes fixatrices d'azote atmosphérique, elles représentaient la principale source d'azote pour les plantes cultivées avant l'arrivée des engrais azotés. Toutes les autres sources d'azote, qu'il s'agisse des déjections d'élevage, des résidus de culture, des composts, constituent des

flux de recirculation et non des sources primaires. Diminuer la consommation d'azote de synthèse sans diminuer la production de protéines associée passe par trois principes :

- utiliser massivement les légumineuses - en culture principale, associée, intermédiaire, ou encore arborée,
- maintenir une couverture du sol en permanence ainsi que les systèmes racinaires profonds, qui limitent la volatilisation ou le lessivage des matières azotées, et d'une manière générale limiter les pertes via des pratiques appropriées,
- recycler l'azote contenu dans les résidus de culture, les déjections d'élevage, les biodéchets générés par les entreprises, les ménages et les collectivités locales.

Les cultures dans Aafterres2050

Portrait de ferme en 2050

La régionalisation du scénario a permis de décrire dans le détail des « unités agricoles de base » à partir de cas type, c'est-à-dire d'exploitations agricoles représentatives en 2010, que nous avons projetées en 2050. Ce sont quelques-uns de ces cas types qui sont décrits ci-dessous, ainsi que dans le chapitre « élever des animaux ».

Une exploitation en grandes cultures en région Picardie

Un système conventionnel performant mais perfectible

Guillaume Rocquecourt cultive 170 hectares de terre fertile. Comme ses voisins, il cultive des céréales à paille, du colza, de la betterave, de la pomme de terre, parfois des légumineuses. Les sols restent nus en hiver, sauf avant la betterave. Cette rotation, somme toute conventionnelle, se raisonne sur 6 ans. La consommation de phytosanitaires est assez élevée, surtout pour la betterave et la pomme de terre. La consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre sont dans la moyenne nationale.

Le passage vers l'agriculture de conservation

Guillaume Rocquecourt comprend que le système est perfectible : l'assolement compte peu de légumineuses et le bilan azote est loin d'être équilibré. Des mesures sont prises : réduction du travail du sol, et couverture permanente, création de bandes fleuries, et implantation d'au moins une légumineuse dans la rotation, voire 2. Bilan : un maintien à l'identique de la production végétale, de 7,5 tonnes de matières sèches à l'hectare toutes cultures confondues, une consommation de phytosanitaires divisée par 2 et une diminution d'un tiers des émissions de gaz à effet de serre et de la consommation d'énergie.

Parce qu'elles hébergent de nombreux auxiliaires, les bandes fleuries ont permis de réduire les traitements sur le puceron de la pomme de terre tandis que le rendement du colza a augmenté, du fait d'une plus forte présence d'insectes pollinisateurs.

En Bio : luzerne, féverole ou compost

Ses voisins, les frères Delacher, sont passés en agriculture biologique. Ils ont ajouté 2 années de luzerne dans leur rotation sur 8 ans. La moitié des périodes d'interculture, en moyenne, est occupée par des couverts, moutarde ou trèfle. A la différence de celui de Guillaume Rocquecourt, leur système de culture ne génère aucun surplus d'azote. Mais la part de la production consacrée à l'alimentation humaine n'est que de 42 %, contre 61 % chez leur voisin. En effet, la fourniture d'azote passe exclusivement par la présence de légumineuses, et l'essentiel des légumineuses cultivées par les frères Delacher sont commercialisées pour l'alimentation animale, à commencer par la luzerne, qui permet en outre de couvrir le sol et de lutter contre les adventices. Variante : le remplacement de la luzerne par du pois ou de la féverole qui peuvent trouver plus facilement preneur sur les marchés.

Chez les Delacher, la production n'est que de 5,4 tonnes de matières sèches à l'hectare, mais la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, ramenées à la production, sont nettement plus faibles que chez Guillaume Rocquecourt. Contrainte majeure : la nécessité d'acheter de l'azote organique à l'extérieur, sous forme de compost, puisque l'azote issu des légumineuses n'est pas suffisant pour fertiliser correctement les surfaces en céréales. Il arrive qu'une partie de la récolte de la luzerne soit compostée afin d'augmenter l'autonomie du système en azote.

A chacun des marges de progrès !

En 2025, les légumineuses occupent le tiers de la surface cultivée chez Guillaume Rocquecourt, et la moitié chez les frères Delacher qui cultivent aussi du pois en culture associée au blé dur. Pour Guillaume Rocquecourt comme pour les frères Delacher, les voies de progrès sont passées par une augmentation des légumineuses destinées à l'alimentation humaine - lentilles, haricots ou soja - pour répondre à l'augmentation de la demande.

Second passage obligé : réduire le travail du sol, ce qui impose de généraliser les couverts. Guillaume Rocquecourt est donc passé au semis direct sous couvert vivant, sans aucun travail du sol, mais conserve quelques traitements phytosanitaires en secours. Les frères Delacher sont en non labour, avec du désherbage mécanique quand c'est nécessaire.

Guillaume Rocquecourt et les frères Delacher se sont associés pour créer un méthaniseur en partenariat avec la coopérative agricole. Le méthaniseur est alimenté par un mélange de pailles et menues pailles, de couverts végétaux, et d'issues de céréales, ce qui procure, outre du biométhane, une source d'azote locale, qui plus est « organique ». En prime, la méthanisation diminue le potentiel germinatif des graines d'adventices ramassées avec les menues pailles. Les frères Delacher réservent une partie de leur production de luzerne pour alimenter le méthaniseur au lieu de l'exporter : ils sont devenus totalement autonomes en azote.

La lutte biologique, qui repose sur la recréation de réserves de biodiversité, est également un pilier du système. Les frères Delacher ont une préférence pour les bandes fleuries et les haies, alors que Guillaume Rocquecourt est un adepte de l'agroforesterie. Les plaines picardes se couvrent ici de bosquets, là de jachères, ailleurs de haies ou de bosquets, dessinant de nouvelles formes paysagères.

2050, la généralisation

En 2050, le système de « production intégrée⁴⁶ » pratiqué par Guillaume Rocquecourt, et celui d'« agriculture biologique » des frères Delacher, très minoritaires en 2015, sont devenus les formes dominantes. Une évolution à la fois choisie, grâce à l'exemple des précurseurs, et contrainte : la recherche de systèmes plus résilients face au changement climatique devient une absolue nécessité.

En 2050, la température en été a augmenté de 2°C par rapport à 2015, et les précipitations entre mai et octobre ont diminué de 17 %. Un dixième des agriculteurs seulement sont restés sur les systèmes anciens, parce que leurs terres se prêtent mal à ces évolutions, ou par refus... Tenté par l'irrigation, Guillaume Rocquecourt a fait marche arrière. En quelques décennies, le débit d'étiage des rivières picardes a diminué de près d'un quart. Ici, les coûts de l'irrigation excédaient les bénéfices. En effet, les accidents climatiques dus à un déficit hydrique s'avèrent relativement rares : une année sur 6 en moyenne. L'irrigation est réservée au printemps en cas de problème sévère pour les céréales à paille et les protéagineux.

Les dates de semis et de récolte ont été avancées, la diversification des variétés culturales rend les productions moins sensibles aux aléas climatiques. Le système est devenu nettement plus résilient. Le rendement en blé a même augmenté en moyenne de 5 % en 30 ans : en Picardie, les facteurs de hausse compensent les facteurs de baisse.

Entre temps, les précurseurs, comme Guillaume Rocquecourt et les frères Delacher, ont passé le relais à une nouvelle génération. Avec plusieurs associés, Louise Delacher, née en 2016, a repris la ferme de ses oncles et l'exploitation de Guillaume Rocquecourt. Ils sont passés intégralement en agriculture biologique et ont généralisé le semis direct sous couvert. Une partie des premiers arbres plantés par Guillaume voici 35 ans ont été abattus, transformés en poutres et en granulés, et remplacés par des arbres à fruits coques qui ont déjà commencé à produire noisettes et amandes, transformées en farines dans une meunerie artisanale.

⁴⁶ Les notions de système agricole, de production intégrée, d'agriculture biologique, etc., sont explicitées dans « La Fabrique d'Afterres ».

Modélisation des systèmes de culture

Décrire les systèmes agronomiques

Dans MoSUT⁴⁷, la modélisation des cultures végétales se base sur 3 systèmes agronomiques contrastés.

« L'agriculture conventionnelle », qui représente l'essentiel de la situation actuelle (90 % des surfaces cultivées) ; elle se caractérise par le recours aux intrants de synthèse (fertilisants, phytosanitaires) et évolue vers une recherche d'une meilleure maîtrise de ces agents (agriculture dite raisonnée) ;

« L'agriculture biologique », obéissant au cahier des charges de l'agriculture biologique et caractérisée par le recours exclusif aux agents biologiques (fumure organique, lutte biologique intégrée) et l'absence totale de produit de synthèse ;

« La production intégrée », qui repose également massivement sur les agents biologiques, sans exclure pour autant certains intrants de synthèse, et met l'accent sur la conservation des sols (travail superficiel des sols, non labour).

Il s'agit de dénominations simplifiées utilisées pour la commodité de la modélisation, qui est nécessairement réductrice. La situation réelle est et sera encore diverse et contrastée, il existe à la fois des continuités et des ruptures entre ces systèmes. Tous les systèmes imaginés dans Afterres2050 mobilisent certaines pratiques communes, à des degrés divers : rotations longues, assolements diversifiés, associations culturales, lutte biologique intégrée, développement des légumineuses et de la fertilisation organique, travail simplifié du sol, couverture du sol, méthanisation, semences paysannes.

Ils se distinguent toutefois par l'intensité du recours à ces différentes pratiques.

- **Les agricultures « biologiques »** privilégient les facteurs de production « biologiques » sur tout autre notamment le recours aux intrants d'origine biologique (légumineuses, engrais organiques, lutte biologique), et excluent totalement l'utilisation des engrais et produits phytosanitaires de synthèse⁴⁸. Les agricultures biologiques 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, qui dégrade les sols, ou bien au désherbage mécanique (herse étrille, bineuse) ou thermique, opérations coûteuses.
- **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 quant à elles le sol, considéré comme le facteur de production primordial. Elles pratiquent systématiquement le semis direct sous couvert, sans labour ou avec un travail superficiel du sol. Faute en outre 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 également 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.

Imaginer une parcelle cultivée dans Afterres2050

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

Au lieu des 2 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 la 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,
- 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 réhibitores ;
- 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. Les graines de céréales sont destinées à l'alimentation humaine tandis que les légumineuses sont majoritairement destinées à l'alimentation du bétail ;
- 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 annuelle. 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, aussi diverses que le sont les terroirs et les paysages : haies, bosquets, ripisylves, jachères ou prairies fleuries, bandes enherbées... 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.

⁴⁷ MoSUT (Modèle Systémique d'Utilisation des Terres) est l'outil de scénarisation mis au point par SOLAGRO. Voir « La Fabrique d'Afterres2050 - la démarche ».

⁴⁸ Il existe cependant des produits phytosanitaires en Agriculture Biologique, dont des produits à base de métaux (cuivre) comme la bouillie bordelaise.

Scénariser les productions végétales

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. Chaque culture principale est caractérisée par ses productions, ses facteurs de production, et des indicateurs d'impact, l'ensemble formant un système cohérent. Les productions comprennent non seulement la culture dite principale, mais également les cultures associées ou intermédiaires, et le bois issu des éléments arborés. Les facteurs de production - consommation d'énergie, d'azote, d'eau, de

produits phytosanitaires, etc. - évoluent également dans le temps. Les techniques culturales simplifiées permettent de réduire le passage des engins, la maîtrise de la fertilisation azotée diminue l'utilisation des engrais de synthèse, et la lutte biologique celles des produits phytosanitaires. Les facteurs d'impact découlent des orientations prises - par exemple la proportion d'infrastructures agroécologiques, le stockage de carbone dans le sol, l'indice de fréquence de traitement (pour les phytosanitaires) - et de conséquences indirectes : le surplus d'azote est calculé pour chaque système par différence entre les besoins des plantes et les apports, en tenant compte des proportions d'azote réellement utilisées.

La modélisation détaillée porte sur 23 productions végétales principales, représentant plus de 95 % des surfaces cultivées : céréales, oléagineux, protéagineux, prairies naturelles, vergers, vigne et cultures industrielles. Les autres cultures (notamment les légumes) sont présentes dans la modélisation, mais ne sont pas détaillées.

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	

- Les 23 productions modélisées.

Faire évoluer les systèmes de culture

La scénarisation des productions agricoles repose sur la généralisation des systèmes existants et considérés comme les plus performants. Le rythme de la transition proposé dans Afterres2050 définit un continuum au cours duquel l'agriculture conventionnelle laisse la place progressivement à l'agriculture raisonnée, pour disparaître vers 2030. En parallèle, la production intégrée ou l'agriculture biologique progressent pour représenter 90 % des surfaces cultivées en 2050. Plusieurs variantes peuvent s'agréger autour de ces systèmes, en fonction des potentialités agronomiques des territoires : agroforesterie, cultures associées...

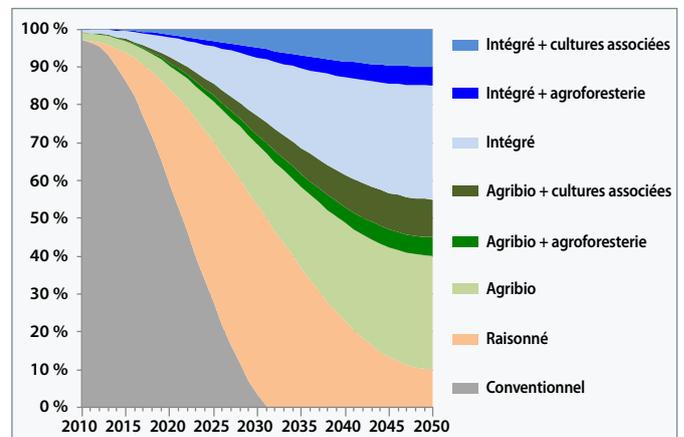
Estimer l'évolution des rendements et l'impact du changement climatique

Les changements climatiques impacteront le comportement des cultures qui seront par ailleurs confrontées à des aléas extrêmes de plus forte intensité.

Les cycles végétatifs, de la germination à la mort, sont pilotés par un cumul de températures tandis que leur « productivité » dépend de la disponibilité en eau.

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

Reste l'incertitude sur les aléas extrêmes. Ils impacteront la production de biomasse sans que cela soit possible à évaluer. Rappelons que les canicules de 1976 et de 2003 ont réduit de 25 % la production agricole nationale et montré notre vulnérabilité.



- Evolution des différents systèmes de production végétale.

Les travaux de prospective menés en France ces dernières années ont été regroupés au sein du projet CLIMATOR⁴⁹. La scénarisation réalisée avec MoSUT repose sur l'intégration de ces travaux. Nous avons proposé des rendements moyens par culture et pour chaque région qui tiennent compte des évolutions différenciées du climat tout en restant très prudents sur les améliorations potentielles de rendements. Le scénario retenu pour la modélisation est le RCP 6.0⁵⁰, ce qui correspond pour la France à une augmentation moyenne de température de 1,6°C pour 2020-2050 et de 3°C pour 2070-2100. Il s'agit d'un scénario peu optimiste, qui conduit à une moyenne mondiale

⁴⁹ http://www.avignon.inra.fr/projet_climator

⁵⁰ Il s'agit des scénarios réalisés par le GIEC dans son 5^{ème} rapport d'évaluation

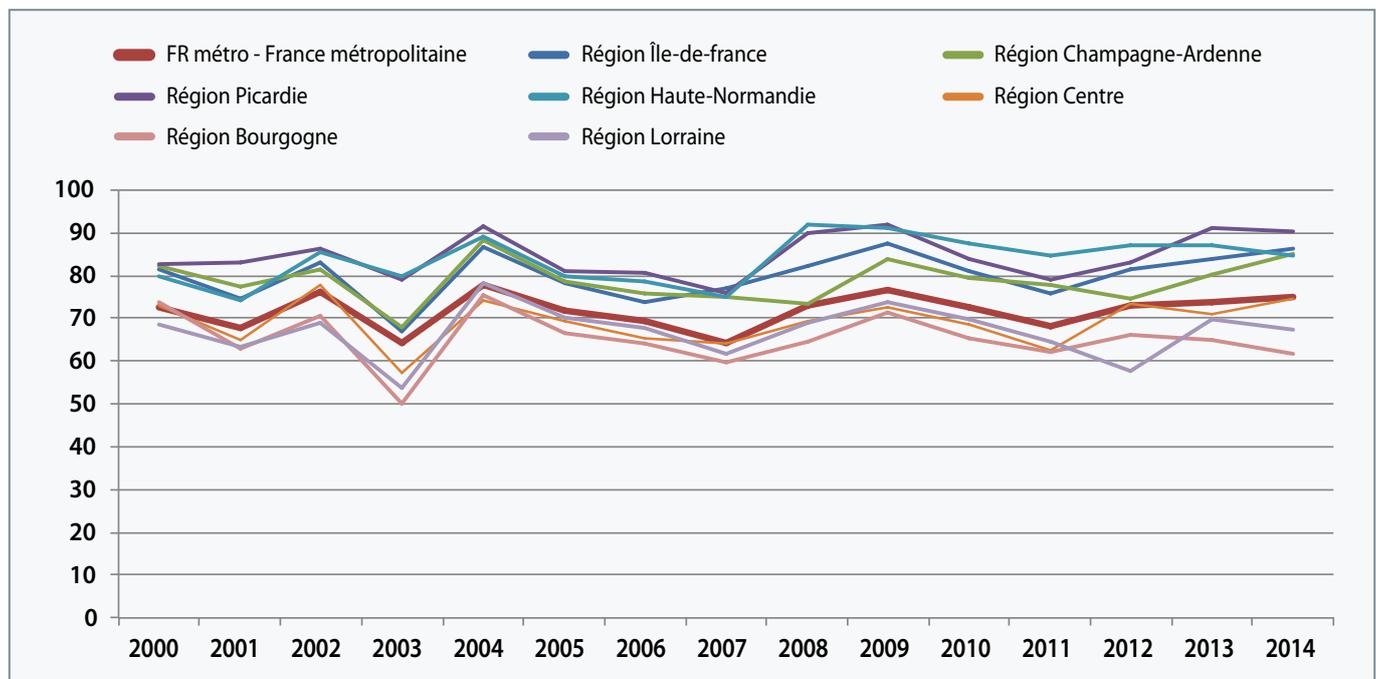
de +2,2°C, au-delà des objectifs souhaités, et qui pénalise la production agricole et la forêt. Prenons le blé tendre, culture emblématique qui occupe le tiers de la sole arable. De 1960 à 1985, le rendement a progressé de près de 1,5 quintal par an. Entre 1985 et 2010, la progression n'est plus que de 0,5 quintal par an. Sur les 15 dernières années, son rendement moyen a été de 72 quintaux par hectare, avec des différences toutefois : 67 quintaux les 5 années les moins bonnes et 74 quintaux pour les 10 autres années. La baisse de rendement (-10 %) des mauvaises années peut être imputée pour 60 % aux conditions d'été (échaudage, déficit hydrique) et pour 40 % à des températures trop basses ou à un excès d'humidité.

Avec le changement climatique, ces incidents ne reviendraient pas 1 année sur 3 mais 2 années sur 3. Ils deviendraient la norme, demain. 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 la diminution des périodes de gel. Les rendements augmenteraient, jusqu'à 4 voire 5 % dans le Bassin Parisien. Au sud de la Loire, les changements devraient accentuer les contraintes

actuelles, déjà fortes: déficits hydriques en été, climat plus fortement érosif, diminution de la matière organique des sols. Sur toute la moitié sud et jusqu'à la Bretagne et à la Bourgogne, le rendement moyen en blé tendre aura tendance à diminuer, avec des chutes marquées en région méditerranéenne (-15 %), mais aussi en Aquitaine et Midi-Pyrénées (de l'ordre de 10%). L'irrigation ne permettrait d'améliorer ce rendement que de 2 quintaux en moyenne pluriannuelle.

L'approche développée ici est une vision prudente. Plusieurs facteurs de hausse des rendements ne sont pas pris en compte. L'allongement des rotations et la diversification des cultures ont un impact positif sur les rendements, mais il reste difficile à quantifier. Mais rien ne garantit que la trajectoire mondiale des émissions de gaz à effet de serre puisse être contenue dans les limites acceptables.

Ces effets sont partiellement intégrés pour l'agriculture biologique, qui possède d'importantes réserves d'amélioration des rendements: ceux-ci sont d'environ la moitié des rendements obtenus pour l'agriculture conventionnelle aujourd'hui, l'écart ne serait plus que d'un tiers en 2050.



- Variabilité pluriannuelle des rendements en blé tendre dans quelques régions (quintaux par hectare).

Au final, un niveau de production végétale primaire maintenu mais diversifié

L'évolution combinée de la proportion de chaque système de culture, et l'évolution de ceux-ci, conduit à des modifications significatives des caractéristiques des principales cultures.

Pour le blé tendre par exemple, la production de blé passe de 7,1 à 5,2 tonnes de grain de blé par hectare, en moyenne au niveau national. Une évolution due au passage en Bio à 50 %, à la présence de cultures associées ou intermédiaires, et à la diminution de la surface semée du fait de l'implantation d'infrastructures agroécologiques.

Ces productions compensent la diminution du rendement en blé. Au total, la production de biomasse de la sole blé (c'est-à-dire les parcelles dont la principale culture annuelle est le blé) augmente légèrement, de 14,4 à 14,8 tonnes de grain ou de matière sèche

par hectare. En mobilisant l'ensemble des pratiques agroécologiques adaptées à ces types de systèmes, les effets sont importants : les quantités produites restent proches de leur niveau actuel voire augmentent, les indicateurs d'impact sont tous sensiblement améliorés. La consommation de produits phytosanitaires, mesurée par l'IFT (Indice de fréquence de traitement) passe de 6 à 1,4⁵¹, avec 100 % de réduction en « agriculture biologique » et 30 à 50 % en « production intégrée ». Les surfaces en infrastructures agroécologiques (IAE) passent de 1,9 % à 4,7 %. La consommation d'énergie diminue d'un tiers.

⁵¹ Les hypothèses de réduction de la pression phytosanitaire sont extraites de l'étude INRA-ECOPHYTO R&D.

1 ha de parcelle « blé tendre » en culture principale, moyenne nationale		2010	2030	2050
Rendement culture principale	t grain	7,1	6,0	5,2
Rendement culture associée	t grain	0,0	0,2	0,4
Rendement culture intercalaire	t MS	0,1	1,8	3,5
Production bois fort (agroforesterie)	t	0,0	0,06	0,1
Rendement bois d'industrie / bois énergie (haies + agroforesterie)	t	0,1	0,2	0,3
Résidus de culture	t	7,1	6,1	5,3
TOTAL BIOMASSE AERIENNE	t	14,4	14,4	14,8
Exportation azote ⁵²	kg N	181	212	254
Fixation symbiotique d'azote	kg N	2	34	69
Besoin azote	kg N	179	175	177
Consommation d'énergie	GJ	95	71	63
Stock de carbone	t C	51	58	70
Surface infrastructures agroécologiques	%	1,9	3,3	4,7
Indice de fréquence de traitement phytosanitaires (IFT)	Nombre	6,0	2,9	1,4

- 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).

Hypothèses clés

- La totalité des terres arables est couverte en permanence, aucun sol ne reste nu : généralisation des couverts lorsque c'est possible, maintien des chaumes et des pailles sinon
- La totalité des terres agricoles est dotée d'infrastructures agroécologiques, (haies, agroforesterie...).
- L'association de cultures est pratiquée sur 20 % des terres arables, et l'agroforesterie sur 10 %
- Le non labour est généralisé, avec semis direct lorsque c'est possible, ou avec travail superficiel du sol sinon
- La moitié des terres arables est conduite en agriculture biologique, une autre moitié en production intégrée. L'agriculture conventionnelle est devenue marginale en 2050
- La proportion de protéagineux augmente significativement, au détriment des céréales
- L'irrigation est réservée aux besoins de printemps

Des arbres et des forêts

Une sylviculture productive et durable

Préserver la multifonctionnalité de 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 sociétales. 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 et la résilience des systèmes forestiers, dans un contexte climatique qui devrait devenir de moins en moins favorable.

Dans la balance commerciale française, l'agglomérat « bois, papier, pâte à papier » représente le second poste déficitaire, le premier étant l'agglomérat « pétrole, gaz, charbon ». Une exception : le poste « vieux papiers » est excédentaire, pour la mauvaise raison que c'est l'Allemagne qui a investi dans les usines de recyclage et que nous y exportons les papiers à recycler. Réduire les importations, notamment de bois non certifié provenant de la déforestation, tout en augmentant la part du bois dans la construction est possible : la forêt française doit

jouer un rôle central, l'enjeu étant d'augmenter significativement les prélèvements, tout en augmentant les services écosystémiques rendus⁵³.

Résilience et adaptation au changement climatique

Les contraintes d'adaptation sont beaucoup plus fortes pour la forêt en comparaison avec l'agriculture. La réponse des forêts aux événements extrêmes comme aux évolutions de fond - stress hydrique, tempêtes, augmentation des besoins en eau du fait d'un allongement des périodes de végétation, apparition de nouvelles maladies - est difficile à prévoir. Le plan national d'adaptation au changement climatique préconise de remettre de la diversité dans les peuplements, de favoriser les espèces les

⁵²L'exportation d'azote représente les quantités fixées par les plantes : elle augmente grâce aux légumineuses. Le besoin en azote est le solde entre les exportations et la fixation symbiotique, elle représente ce qu'il est nécessaire d'apporter à la parcelle. Il reste stable car les légumineuses apportent autant d'azote qu'elles en exportent.

⁵³Construire une société soutenable : quelle production pour quels usages du bois des forêts françaises ? Les Amis de la Terre, Mai 2009

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. Le déplacement des aires de distribution des essences d'arbres est consi-

déré 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.

Forêt, bois et bilan carbone

La neutralité carbone du bois en question

Le matériau bois est réputé « climatiquement neutre » puisqu'il stocke du carbone. Le bois énergie également était jusqu'à présent considéré comme climatiquement neutre, dans la mesure où sa combustion relargue le carbone absorbé pendant la phase de croissance de l'arbre. Ce raisonnement est valable pour des cultures annuelles et des cycles courts. Pour la forêt, il ne vaut que si celle-ci a atteint son climax, c'est-à-dire un état stable dans lequel la régénération compense la mortalité. Le prélèvement de bois, pour des forêts gérées durablement, ne modifie pas le stock sur pied. La substitution de bois énergie vient donc diminuer les émissions de gaz carbonique dues au déstockage de carbone engendré par la combustion d'une ressource fossile. Or nos forêts ne sont pas toutes parvenues au stade climacique : pour preuve, la forêt française dans son ensemble stocke du carbone en quantités massives. Le non-prélèvement de bois constitue une forme de stockage de carbone, que l'on peut comparer aux différentes formes d'utilisation du bois.

Privilégier les itinéraires à faible temps de retour carbone

Il existe un consensus assez large de priorisation au bois matériau pour la construction, qui offrent des durées de stockage les plus longues. Dans ce contexte, la valorisation énergétique du « bois lié », c'est-à-dire des compartiments impropres à un usage construction, présente un bilan neutre, puisqu'il s'agit dans ce cas d'un sous-produit d'une activité principale, qui se serait décomposé sur place s'il n'était pas utilisé.

A l'inverse, un usage purement énergétique du bois peut présenter un temps de retour carbone élevé, si le prélèvement s'effectue dans une forêt en pleine croissance. C'est le cas des taillis par exemple : il s'agit d'une forme de sylviculture traditionnelle mais finalement assez intensive, avec le prélèvement de rejets âgés de 8 à 10 ans. Elle pourrait être comparée à d'autres scénarios, notamment de conversion en futaie. Mais pour que cette comparaison soit pertinente (et

Le bilan net repose sur la notion de durée de cycle. Un usage de long terme (charpentes) permet de stocker du carbone sur plusieurs décennies, générations voire siècles. Un usage de moyen terme (papier, meubles) ou de court terme (énergie) constitue un cycle plus court, de quelques années en moyenne, et ne constitue pas une forme durable de stockage. Evaluer le bilan carbone des usages bois, matériau ou énergie, revient à comparer plusieurs scénarios de sylviculture et d'utilisation du bois, et ces comparaisons suscitent de nombreux débats et controverses⁵⁴.

On oppose généralement un effet « séquestration » (stocker du carbone dans les écosystèmes forestiers ou dans les produits bois) et un effet « substitution » (remplacer des énergies et matériaux à forte empreinte carbone - fossiles, aluminium, béton... - par des produits biosourcés). Selon les scénarios, le « temps de retour carbone », c'est-à-dire la durée nécessaire pour obtenir un bilan positif en cas d'augmentation des prélèvements, varie entre 10 ans et 50 ans.

le solde du bilan carbone calculable), encore faut-il que les débouchés en bois d'œuvre existent. Ce qui n'est pas le cas pour le bois d'œuvre feuillu actuellement. Or la forêt française est majoritairement constituée de feuillus, tandis que la demande porte surtout sur les résineux. Augmenter le bois dans la construction pourrait conduire paradoxalement à une augmentation des importations de résineux alors que la forêt feuillue française resterait sous-valorisée.

Augmenter les usages du bois d'œuvre feuillu est le principal pivot des futures politiques sylvicoles. Il n'est pas le seul : les politiques de substitution peuvent s'accompagner d'une sylviculture dynamique qui permet d'augmenter le potentiel de séquestration. Les deux logiques ne sont pas systématiquement en affrontement.

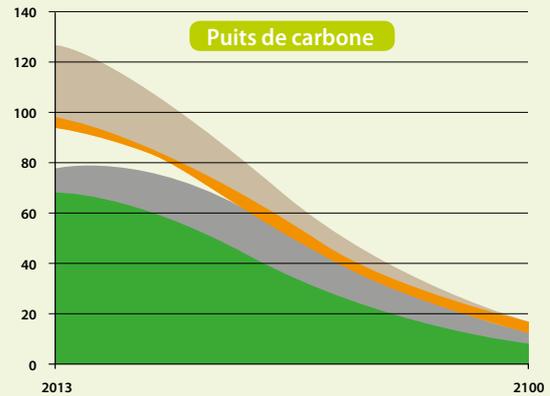
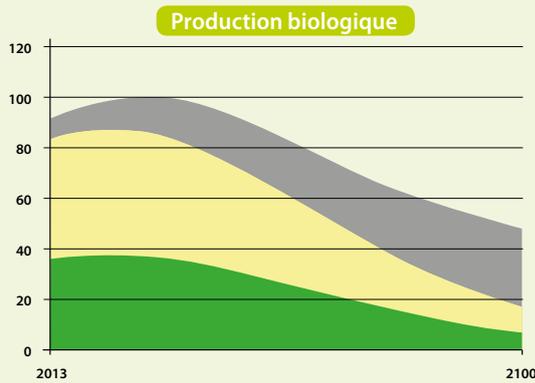
L'enjeu est au contraire de maximiser les synergies possibles.

⁵⁴Voir l'avis de l'ADEME : Forêt et atténuation du changement climatique, Juin 2015.

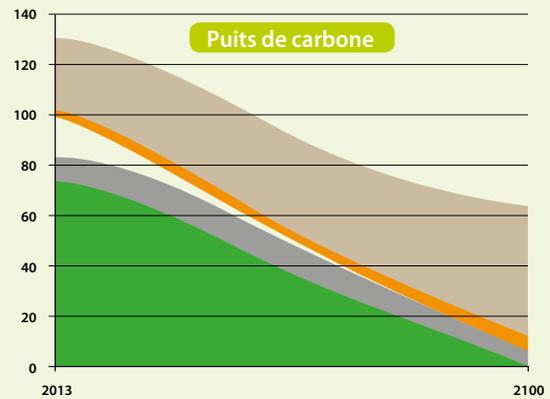
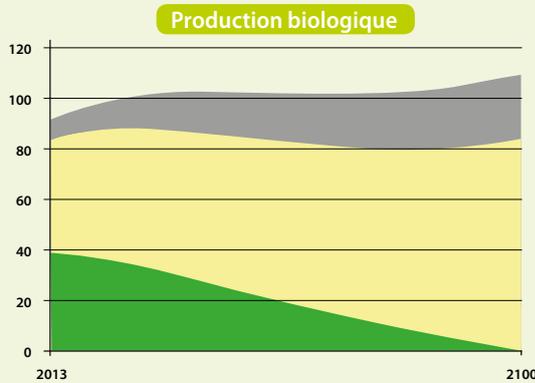
Jean-Luc Peyron, directeur d'ECOFOR, a posé récemment les premiers jalons quantifiés du devenir à long terme de la forêt française, selon différents scénarios climatiques et sylvicoles⁵⁵.

Dans le scénario « sylviculture constante » (graphiques du haut), la production biologique annuelle (graphique de gauche) finit par diminuer, et la mortalité emporte l'essentiel de l'accroissement. Les prélèvements s'effondrent, et l'accumulation de biomasse en forêt également. Dans le scénario « sylviculture dynamique », les prélèvements sont alignés sur « 100 % de l'accroissement net annuel ». La production biologique se maintient, voire augmente. L'accumulation nette finit par devenir nulle. La fonction « puits de carbone » (graphiques de droite) - la somme du stockage dans la forêt (croissance, bois morts et sols) et dans les produits biosourcés (matériaux et énergie, en cumulant les effets de séquestration et de substitution) de la forêt française en 2100 chute très fortement dans le scénario à sylviculture constante en 2100, et est divisé par deux dans le scénario dynamique. Ces travaux encore exploratoires ont le mérite de souligner l'importance de la prise en compte du temps long, et de raisonner au-delà de 2050 : le diagnostic est différent si l'on raisonne à court, moyen et long terme.

Scénario sylviculture constante : dépérissement par mortalité



Scénario prélèvement aligné sur « 100 % de la production biologique en 2100 »



■ Mortalité ■ Prélèvements ■ Accumulation

■ Substitution ■ Produits □ Sols
■ Bois mort ■ Croissance

⁵⁵ Cité par « Climat, Forêt, Société – Livre Vert », Y. Caullet, Nov. 2015.

Agriaffaires 2050

Élever les animaux

Trois dilemmes

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 et l'hémicellulose. Le troupeau bovin français actuel est nourri avec

68 millions de tonnes (en matière sèche) d'herbe provenant des prairies permanentes (sous forme de foin ou au pâturage) et de cultures fourragères annuelles (maïs, sorgho) ou pluriannuelles (prairies temporaires mélangées, luzerne, trèfle) et 12 millions de tonnes d'aliments concentrés (céréales, tourteaux de colza ou de soja, co-produits des industries agro-alimentaires, etc.). Il produit 1 million de tonnes de protéines sous forme de viande et de lait. Les monogastriques (porcs et volailles) de leur côté ingèrent 16 millions de tonnes d'aliments et fournissent 0,6 million de tonnes de protéines sous forme de viande et d'œufs.

Herbe et fourrages	millions de tonnes (en matière sèche)
Aliments concentrés	millions de tonnes
Viande	millions de tonnes
Lait	millions de tonnes
Œufs	millions de tonnes
Protéines	millions de tonnes



Bovins	Monogastriques (porcs + volailles)
68	-
12	16
1,5	1,5
25	-
-	0,8
1	0,6

- Consommation d'aliments et productions animales (synthèse, moyenne France 2008-2012).

Le bilan énergétique des monogastriques est donc meilleur que celui des ruminants : il faut globalement 3 fois moins d'aliments végétaux pour une même quantité de protéines, et par conséquent 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 majoritairement produits en élevage intensif, espaces où les animaux sont élevés en batterie avec une alimentation très optimisée. Les élevages qui reposent sur ce modèle sont souvent basés 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 (antibiotiques), 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 (pâturée ou sous forme de foin, d'ensilage, de granulés de luzerne). Certes, les élevages en bovin lait consomment des grains et des tourteaux, et les veaux sont engraisés au grain, quand ils ne sont pas exportés en Italie. Mais à la diffé-

rence 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 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.

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 oléoprotéagineux 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.

Quels arbitrages au regard des défis d'aujourd'hui ?

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 évolutions. Tout d'abord la rareté des ressources naturelles imposera la recherche de la meilleure efficacité et favorise donc les plus faibles indices de consommation. 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. 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 (bœufs et chevaux de trait), du lait et des œufs. Poules et cochons étaient des animaux de basse-cour nourris

avec les déchets de cuisine et le petit-lait, et le grain ne leur était distribué qu'avec parcimonie. 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 » dérivent pour l'essentiel des races de labour.

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).

Le retour du pâturage

Désintensifier l'élevage laitier pour maintenir les prairies naturelles

Les discours sur le rôle des ruminants sur le maintien des pâturages - avec les questions de biodiversité et de stockage de carbone dans les prairies qui lui sont associés - occultent souvent le fait que la tendance à l'intensification conduit au contraire au « zéro pâturage ». La recherche d'une productivité maximale en lait impose l'utilisation d'aliments concentrés, qui comme leur nom l'indique, permettent de fournir plus d'énergie digestible à volume de panse égal. La grande taille des troupeaux n'autorise au mieux que l'accès à une aire d'exercice, non à des pâturages avec un chargement à l'hectare⁵⁶ équilibré. Maintenir les pâturages impose donc à la fois une limite à la taille des troupeaux et au chargement⁵⁷.

Retrouver les races mixtes

Le dimensionnement des deux troupeaux, laitier et viande, résulte de deux facteurs principaux. 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) par 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 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. D'où la priorité donnée dans le scénario aux « races mixtes » produisant à la fois du lait et de la viande de qualité.

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.



© Eric Péro

⁵⁶ Le chargement est le nombre de vaches par surface de prairies et de cultures fourragères.

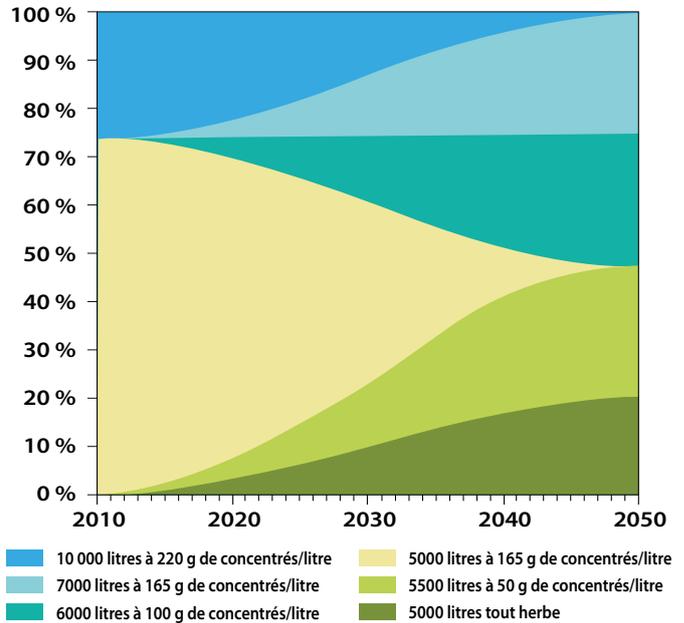
⁵⁷ Voir le dossier « Pâturage des grands troupeaux », Chambres d'Agriculture de Bretagne, Nov. 2012. Il décrit des exploitations qui pratiquent la pâture, mais les élevages du réseau d'observation comportent moins de 250 vaches laitières.

Modélisation des systèmes d'élevage : les ruminants

Bovins

Le cheptel bovin lait est décrit selon 6 types d'élevages qui se différencient principalement selon leur productivité en lait et leur régime alimentaire. Une vache laitière produit aujourd'hui en moyenne 6 500 kg de lait par an. Les plus productives dépassent les 10 000 kg : elles sont dans ce cas nourries surtout aux concentrés et à l'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 et pouvant être nourries exclusivement à l'herbe (pâturage et foin), produisent 5 000 kg de lait, voire moins. Le scénario propose une évolution générale vers des systèmes moins intensifs⁵⁸. La laitière à 10 000 kg 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 (20 % des effectifs), et se substituerait en grande partie aux élevages bovin viande. Les facteurs clés sont la consommation de concentrés, qui joue directement sur la productivité en lait par vache, et le temps de pâturage qui joue sur la part relative entre herbe pâturée et fourrages, et influence directement la capacité à maintenir ou non les prairies naturelles permanentes. D'autres facteurs pertinents sont modélisés, par exemple la digestibilité des aliments, un coefficient d'atténuation des fermentations entériques, ou encore le système de gestion des déjections d'élevage, facteurs qui entrent en ligne de compte dans les émissions de gaz à effet de serre.



• Évolution des systèmes bovin lait.

Type	Temps de pâturage moyen	Concentrés (g/l de lait)	Production de lait par vache	Herbe pâturée	Fourrages	Concentrés
				tMS par vache (incluant la suite) ⁵⁹		
10 000 litres sans pâturage	10 %	220	10 000	0,86	8,53	3,1
5 000 litres – actuel	50 %	165	5 000	4,03	4,79	1,7
5 000 litre tout herbe	80 %	0	5 000	5,97	2,85	0,8
5 500 litre - très économe	75 %	50	5 500	5,60	3,22	1,1
6 000 litres à 100 g de concentrés	60 %	100	6 000	4,48	4,34	1,4
7 000 litres à 165 g de concentrés	50 %	165	7 000	4,01	5,38	2,1

- Principales caractéristiques des systèmes bovin lait actuels et futurs (la consommation d'herbe, de fourrages et d'aliments concentrés, comprend également l'alimentation de la suite⁶⁰).

Les caractéristiques zootechniques du troupeau laitier « moyen » évoluent (comme indiqué dans le tableau ci-dessous). Les troupeaux bovin viande sont aujourd'hui assez extensifs, avec un recours au pâturage important : globalement près des

deux tiers du temps. Ils conservent leurs caractéristiques dans Afterres2050, le temps de pâturage augmentant encore un peu, la modification principale étant le nombre d'effectif.

Caractéristiques du troupeau laitier moyen		2010	2050			
			Tendanciel	Afterres	SAB	REP
Production de lait	Litre / vache	6.300	7 400	5 900	5 800	5 800
Temps de pâturage		40 %	36 %	66 %	68 %	62 %
Ration fourragère	Tonnes de matière sèche par vache et par an	5,8	6,3	4	3,8	4,3
Consommation de concentrés	g/litre de lait	179	184	83	70	101

- Caractéristiques du troupeau laitier.

⁵⁸ 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.

⁵⁹ Pâturage : tonnes de matières sèches pâturées. Fourrages et concentrés : tonnes de matières sèches consommées à l'étable. Les fourrages regroupent l'herbe de conservation (foin, granulés de luzerne, etc.) et l'ensemble des cultures fourragères (ensilage, chou fourrager, etc.).

⁶⁰ Toutes ces données sont rapportées aux effectifs de vaches, mais elles comprennent l'alimentation et la production de ce que l'on appelle la « suite », c'est-à-dire les autres animaux qui accompagnent la vache, habituellement classés selon la nomenclature suivante : veaux de moins d'un an, génisses 1-2 ans, génisses de plus de 2 ans, veaux mâles 1-2 ans, mâles de plus de 2 ans, taureaux.

Ovins, caprins

Les élevages de brebis sont majoritairement implantés dans des territoires assez difficiles : 80 % des élevages ovins viandes bénéficient de la prime ICHN⁶¹. Les ovins permettent de valoriser estives et parcours, qui sont des espaces peu productifs comme les alpages, pelouses d'altitude, causses. Les brebis allaitantes (dédiées à la production de viande) en France sont nourries à plus de 63 % par la pâture, et à plus de 80 % par de l'herbe en comptant le foin. Les brebis sont présentes essentiellement dans les Alpes et les Pyrénées (systèmes pastoraux collectifs), le Massif Central (systèmes herbagers extensifs), ainsi que dans le Poitou (système fourrager plus intensif). Les systèmes bergerie, où les animaux sortent moins et consomment 40 % d'aliments sous forme de concentrés, sont très minoritaires. Les systèmes laitiers, qu'il s'agisse des ovins ou des caprins, sont plus intensifs, avec moins de pâturages et plus de concentrés. La proportion de la produc-

tion laitière en France sous signe de qualité ou en transformation directe (fromage) est importante. Les élevages ovins auront à faire face aux impacts du changement climatique dans ces régions particulièrement fragilisées, surtout dans la moitié Sud de la France. Ils vont par ailleurs se maintenir aussi dans les régions de plaine, et même selon les hypothèses d'Afterres2050 se développer, car ils permettent de bien valoriser des terres pauvres ou de petites superficies. De nombreuses pistes d'amélioration sont possibles⁶²: par exemple meilleure gestion de l'agnelage, pâturage tournant dynamique (ou « technopâturage »⁶³), progrès des systèmes à bas niveau d'intrants, etc. Dans Afterres2050, les principales caractéristiques des systèmes ovins et caprins ne sont pas modifiées : les pistes de progrès permettant simplement de compenser à la fois les conséquences du changement climatique et la tendance à l'augmentation de la consommation de concentrés.

Modélisation des systèmes d'élevage : porcs et volailles

Pour les monogastriques (porcs, volailles), les facteurs clés sont la surface disponible par animal, l'accès à des espaces extérieurs, la durée d'engraissement, l'indice de consommation, le poids vif. Le modèle intègre un taux de mortalité qui peut varier selon la nature des élevages.

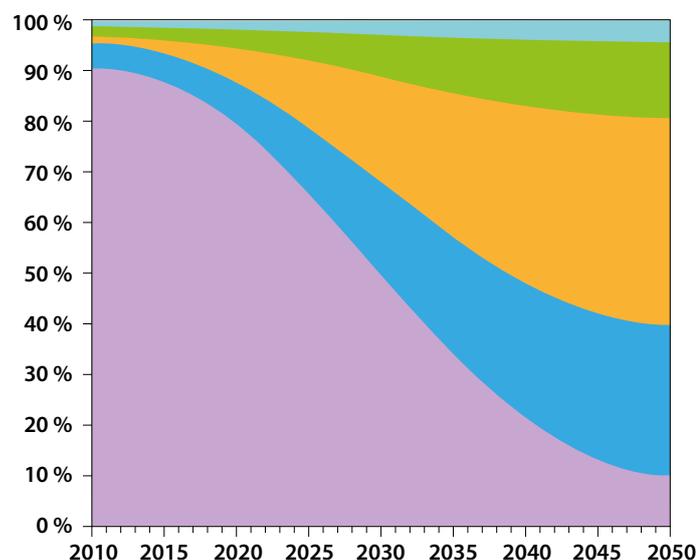
Production porcine

En production porcine, le système conventionnel actuel est largement dominant. Les animaux sous signe officiel de qualité représentent 3 % des abattages français. Les systèmes Bio actuels se distinguent notamment par une surface beaucoup

plus importante sous bâtiment et l'accès à des aires d'exercice. Dans le scénario Afterres2050 apparaît un système « conventionnel amélioré » qui se distinguerait de l'actuel notamment par une surface de bâtiment nettement supérieure, presque le double du conventionnel.

Type	Durée d'engraissement (jours)	Nombre de lots par an	Indice de consommation (kg concentrés par kg poids vif)	Surface de bâtiment, m ² /animal	Surface d'exercice, m ² /animal
Conventionnel	120	2,7	2,7	0,73	0
Conventionnel « amélioré »	133	2,5	2,8	1,21	0
Bio sous bâtiment	145	2,3	3,1	2,65	40
Bio plein air	145	2,3	3,2	0	84
Extensif (type porc noir gascon)	365	0,9	3,9	0	212

- Caractéristiques productions porcines.



Les élevages sous signe qualité remplacent progressivement les systèmes conventionnels, qui ne représentent plus qu'une part résiduelle de 10 % en 2050. L'élevage porcin se répartit entre 60 % d'élevages sous label Bio, en majorité sous bâtiment, et pour 20 % de plein air, dont 4 % de systèmes très extensifs de type porc noir Gascon.



- Porc extensif lourd (type porc noir gascon)
- Porc engraissement bio plein air
- Porc engraissement bio sous bâtiment
- Porc engraissement conventionnel amélioré
- Porc engraissement conventionnel

- Evolution des systèmes d'élevage de porcs.

⁶¹ Indemnité Compensatoire de Handicap Naturel. Source : « Comprendre les enjeux environnementaux dans l'élevage ovin », IDELE et INTERBEV, Sept. 2014.

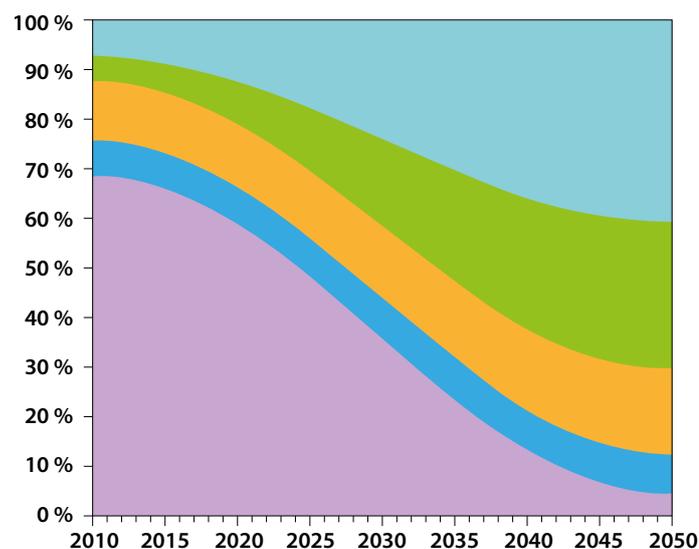
⁶² F. Boquier et al., Innovations et performances environnementales en production caprine et ovine : Expertise Elevage-Environnement à l'INRA, Innovations Agronomiques 12 (2011), 29-52
⁶³ Voir <http://www.osez-agroecologie.org/delpech-paturage-tournant>

Poules pondeuses

La production d'œufs standard représente aujourd'hui 68 % de la production totale, la production Bio 8 % et le reste (Label Rouge, en plein air, au sol) 24 %. En système label ou Bio, les performances ne sont pas très différentes : la production d'œuf est inférieure de 12 %, mais les poules disposent de deux fois plus de place.

Type	Nombre d'œufs par an	Masse (g/ œuf)	Consommation d'aliments (g/ jour)	Temps de séjour, jours	Densité bâtiment, poule/m ²
Poules standard en cage	293	63	112	350	13
Poules standard au sol	257	59	110	333	9
Poules plein air standard	259	61	115	332	9
Poules label	263	59	118	336	9
Poules Bio	257	61	112	334	6

• Caractéristiques des élevages de poules pondeuses



Dans Afterres2050, les poules pondeuses Bio représentent 40 % des effectifs, les labels et le plein air 47 %, et les élevages standard 13 %.



- Poules bio
- Poules label
- Poules plein air standard
- Poules standard au sol
- Poules standard en cage

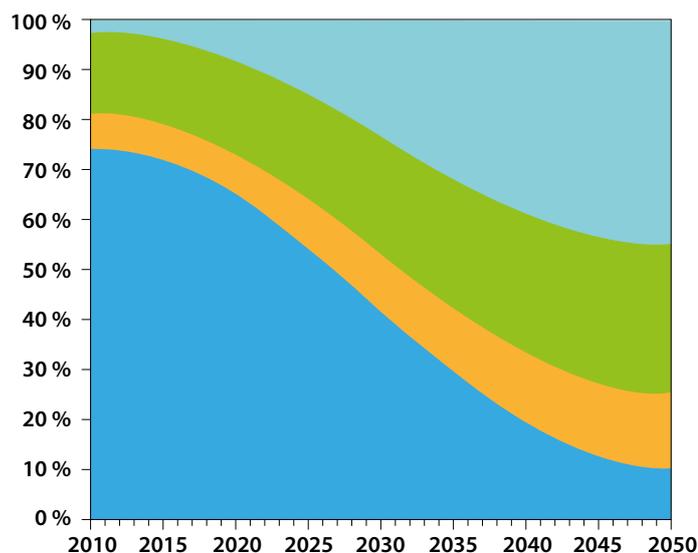
• Évolution des types d'élevages de poules pondeuses

Volailles de chair

Les poulets standard sont élevés en 40 jours, voire moins. L'indice de consommation est désormais de 1,7 kg de concentrés par kg de poids vif. Les productions sous signe de qualité ou d'origine (SIQO) représentent 15 % de la production de viande de volaille, en comptant la Bio. Dans les systèmes sous label ou Bio, la durée d'élevage est presque triplée, au prix d'un indice de consommation plus élevé, pratiquement le double du standard.

Type	Type	Durée d'élevage, jours	Nombre de lots par an	Indice de consommation (kg concentrés par kg poids vif)	Poids vif, kg
Poulet	Poulet standard	37	6,7	1,7	1,9
	Poulet certifié	58	5,2	2,2	2,2
	Poulet label	81	3,3	3,1	2,2
	Poulet Bio	95	3,0	3,3	2,3
Dinde	Dinde medium	116	2,6	2,3	8,8
	Dinde label	140	2,1	2,4	4,3
	Dinde Bio	140	2,1	2,4	4,3
Pintade	Pintade standard	79	3,6	2,9	1,6
	Pintade label	102	2,9	3,8	2,0
	Pintade Bio	94	2,5	3,7	1,7
Canard	Canard à rôti	85	3,4	2,8	3,4
	Canard prêt à gaver	86	3,6	4,0	4,1
	Canard gras	12	19,0	6,1	1,6

• Caractéristiques des élevages de volailles



Dans Afterres2050, le poulet standard cède la place au poulet bio ou au poulet sous label et ne représente plus que 10 % de la production.



■ Poulet AB
■ Poulet label
■ Poulet certifié
■ Poulet standard

● Répartition des types d'élevages en poulet de chair

Hypothèses clés

- Le cheptel bovin est massivement réorienté vers un système à l'herbe, la consommation de concentrés diminue fortement,
- La productivité en lait par vache diminue en même temps que le changement d'alimentation,
- Les effectifs des races mixtes se maintiennent, les races spécialisées lait ou viande voient leur part diminuer fortement,
- La production de lait est rééquilibrée sur l'ensemble du territoire,
- Le niveau « standard » en élevages monogastriques devient résiduel (10 % des élevages) au profit des productions sous signe de qualité, qui se partagent pour moitié entre label Agriculture Biologique et autres labels (type Label Rouge ou Certification).

Les élevages dans Afterres2050

Portraits de fermes en 2050

Un élevage bovin viande en région Centre Val de Loire

Une ferme classique de polyculture élevage

Avec ses 70 Charolaises sur 125 ha de cultures et prairies, le GAEC d'Aurélie et Nicolas Robin est typique des élevages bovin viande du Val de Loire. Les prairies permanentes représentent le tiers de la SAU, les prairies temporaires un autre tiers, le reste est dédié aux céréales - blé, orge et colza - en partie autoconsommées. La pousse d'herbe estivale est suffisante pour permettre le pâturage en été et en automne. Le stock constitué au printemps permet de passer l'hiver généralement sans difficultés. La ferme est autonome en céréales et en paille, mais achète des tourteaux.

Diversifier, travailler sur l'aval, refonder en profondeur le système fourrager

Le GAEC Robin fait partie avec une vingtaine d'éleveurs et de céréaliers, du GIEE Terres-Étangs qui fait de la transformation et de la vente en circuits courts. Cette démarche repose sur un contrat passé avec la cuisine centrale de Châteauroux. L'élevage est passé sous un label de qualité puis sous label Agriculture Biologique. Objectif du GAEC : devenir totalement autonome en aliments et diversifier ses productions. Contrainte : la pousse estivale devient plus aléatoire avec le changement climatique, il faut parfois compléter la ration. De plus en plus souvent en été, la totalité de l'herbe des prairies permanentes est pâturée, laissant d'autant moins de possibilité de constituer des stocks de fourrage.

Aussi, Aurélie et Nicolas optent pour une division du troupeau allaitant par 2, et la conversion des cultures fourragères en céréales et en oléoprotéagineux. La rotation est beaucoup plus diversifiée, la part de la surface consacrée à l'alimentation humaine triple, grâce aux légumineuses. Les cultures vendues augmentent nettement. Le passage au non labour intégral s'est fait progressivement. Les 42 ha de prairies permanentes sont intégralement conservés. La pâture ne consomme qu'une partie de l'herbe ce qui permet de constituer des stocks de foin. En année normale, une partie est utilisée pour le bétail, et une autre partie alimente un méthaniseur collectif géré par le GIEE Terres-Étangs. Celui-ci est

également alimenté par le fumier produit en hiver. La quantité de foin méthanisé représente le quart de la production d'herbe. En année difficile, les éleveurs ont deux options : donner la priorité à l'alimentation du bétail en puisant dans le stock de foin, ou maintenir la production d'énergie en réduisant le troupeau. Le méthaniseur permet d'une part de répartir les nutriments et la matière organique au plus près des besoins des fermes, et de dégager de nouvelles sources de revenus : le biométhane est vendu sous contrat à la vile de Châteauroux, via le réseau de gaz naturel : il correspond à la consommation de la moitié de la flotte de bus urbains. Une production énergétique qui s'ajoute à l'électricité produite par les 300 m² de panneaux photovoltaïques posés sur les bâtiments. Cette démarche de diversification et de montée en gamme a donné de réelles marges de manœuvre, et rend le GAEC beaucoup plus résilient.

Passer sur des races mixtes

Maxime Bonnin, associé du même GIEE, a fait un choix différent. Il a certes réduit le troupeau, mais il a surtout adopté la Nantaise, une race mixte et rustique, pour produire à la fois du lait et de la viande, ce qui lui permet d'exploiter ses sols pauvres et humides en hiver. Avec un associé, il possède également un petit troupeau de Berrichons du Cher, une race ovine appréciée pour la qualité de sa viande. Cette activité lui permet d'offrir des prestations à ses voisins, dont beaucoup disposent de petites parcelles délaissées ou éloignées, pour lesquelles les ovins offrent une valorisation intéressante. Maxime est un adepte du Pâturage Tournant Dynamique (PTD), qui permet de faire « coexister » ses troupeaux et optimise la valorisation de l'herbe. Maxime a également investi dans la pisciculture : les étangs de la Brenne connaissent un dynamisme sans précédent, du fait de la chute des pêches maritimes. Produit phare : la carpe royale, élevée de façon extensive et nourrie d'insectes aquatiques et de zooplancton, produit en utilisant du digestat de méthanisation comme source de nutriments.

Un élevage bovin lait en Rhône-Alpes

Résister à la déprise

Thomas Morel élève 35 Montbéliardes sur 59 hectares, dont 32 ha de prairies naturelles, 18 ha de prairies temporaires, 8 ha d'orge et triticale et 1 ha de pomme de terre. La production de lait est de 200 000 litres par an, à raison de 6 200 litres par vache. Les prairies temporaires sont fauchées au printemps et à l'automne. Les prairies permanentes sont en partie fauchées et en partie pâturées au printemps, et intégralement pâturées dès le mois d'août. Les céréales couvrent les besoins de la ferme, le système est autonome. Dans cette région, l'élevage a beaucoup évolué : de 2000 à 2010, la taille moyenne des élevages a augmenté de 40 %, le cheptel laitier a diminué de 12 % dans le même temps, et le nombre d'exploitations laitières a diminué de 37 %. Les races de montagne comme l'Abondance ou la Tarentaise ont mieux résisté que la Prim'Hosstein ou la Montbéliarde.

Conversion en Bio

Thomas Morel a maintenu son troupeau, mais doublé sa SAU avec le départ de ses voisins. Sa visite chez Maxime Bonnin, dans l'Indre, l'a convaincu du bien fondé du système. Il a choisi de réduire fortement la consommation de concentrés, qui passe de 240 à 80 grammes par litre de lait. Une solution permise notamment par l'installation d'un séchoir en grange (qui plus est solaire) qui a nettement amélioré la valeur des fourrages. La productivité par vache diminue de 25 %, une perte compensée par la vente des cultures, et surtout par un meilleur prix de vente du lait. Avec un tel système herbager, la conversion en agriculture biologique n'a pas posé de difficulté particulière. Elle s'imposait même, afin de satisfaire la demande de la laiterie locale qui a décidé de passer en intégralité sur le marché de la Bio.

L'augmentation de la surface totale de l'exploitation et la division par 2 des prairies temporaires et des cultures fourragères permet de diversifier les productions vers les céréales et oléoprotéagineux, et d'allonger les rotations. Les prairies naturelles sont maintenues dans leur intégralité, alpages compris. Les prairies mécanisables sont fauchées au printemps. L'herbe en excédent est utilisée dans un méthaniseur, alimenté en outre par le fumier, et un tiers (en année normale) des cultures intermédiaires produites sur les surfaces arables. En année de sécheresse, le stock de foin et de cultures intermédiaires est destiné en priorité aux animaux.

Le méthaniseur appartient à une entreprise locale, qui comprend une demi-douzaine d'associés. Il alimente un petit groupe électrogène de cogénération, qui dessert le réseau de chaleur communal, et permet de sécher du foin, des plaquettes de bois, des céréales et des légumineuses.

Terres 2050

Utiliser les terres



Surfaces non agricoles

L'artificialisation des terres

Lutter contre l'artificialisation des terres

La surface agricole utile ne cesse de reculer : de 34,5 millions d'hectares en 1960 elle ne couvre plus que 29,1 millions d'hectare en 2010. Dans le même temps, la surface boisée a gagné autant de surfaces que les landes et friches en ont perdu. Au grand bénéfice des sols artificialisés : la population augmente et se répartit différemment à l'intérieur du territoire national, la surface artificialisée par habitant progresse pour satisfaire les besoins en routes et parkings, en résidences secondaires, ou du fait des phénomènes de décohabitation. La surface agricole par habitant a ainsi diminué de 56 % en 50 ans. Chaque français dispose de l'équivalent de 46 ares pour se nourrir aujourd'hui, n'en disposera plus que de 36 en 2050 si la tendance se poursuit. Ce recul des surfaces agricoles est d'autant plus inquiétant qu'il 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.

Artificialisation et population

En 2010, les surfaces artificialisées représentent 4,9 millions d'hectares, et gagnent 60.000 ha par an⁶⁴. Le phénomène est très hétérogène sur le territoire national. Si on en connaît les principales causes, il n'existe pas de modèle prédictif⁶⁵. On peut simplement faire le constat que les surfaces artificialisées sont étroitement corrélées avec la densité de population : avec 1 022 habitants par km², la région Ile-de-France est celle qui compte la plus faible surface artificialisée par habitant, soit 21 ha par millier habitants. A l'inverse, dans le Limousin, la densité est de 44 habitants par km² et l'artificialisation de 160 ha par millier d'habitants.

L'augmentation des surfaces artificialisées n'est pas corrélée à l'augmentation de la population : l'île de France a vu sa population augmenter d'un million d'habitants depuis 1992 et n'a consommé que 10 000 ha. Rhône-Alpes, au contraire, a artificialisé 120 000 ha pour recevoir 800 000 habitants supplémentaires.

Languedoc-Roussillon ou PACA n'ont pas plus artificialisé que la Bourgogne, alors que les premières ont accueilli 500 000 habitants supplémentaires, et la Bourgogne très peu.

Contenir l'artificialisation

L'augmentation des surfaces artificialisées dépend de deux paramètres : un effet lié à l'augmentation de la population, et un effet d'étalement à population égale. La population augmentera de 15 % d'ici 2050 selon l'INSEE. La projection des tendances constatées par le passé pour le ratio « surface artificialisée par habitant » conduit à une augmentation de la surface artificialisée par habitant de 29 % en moyenne nationale.

Le cumul de ces deux facteurs donne une augmentation de 48 %, soit 2,3 millions d'hectares, et un total de 7,2 millions d'hectares de surfaces artificialisées.

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. Les schémas de cohérence territoriale (SCOT) et les plans locaux d'urbanisme 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 zones qui reportent l'artificialisation dans les périphéries urbaines. Même si nous avons toujours besoin de construire des infrastructures, bâtiments et équipements, il est possible de ralentir cette artificialisation, 4 fois plus rapide que la croissance démographique. Afterres2050 prend pour hypothèse une division par 2 de l'effet d'étalement : la surface par habitant ne progresse que de 14 % seulement. Les surfaces artificialisées passent ainsi à 6,4 Mha, soit une augmentation de 1,5 Mha, et près de 0,8 million d'hectares de différence avec le scénario tendanciel. Les régions qui subissent le plus fortement l'effet de l'artificialisation sont Rhône-Alpes, Midi-Pyrénées, Pays de Loire et Aquitaine, pour des raisons principalement démographiques.

Milliers d'hectares	1990	2010	2030	2050	2050	2050	2050
			Afterres	Tendanciel	Afterres	SAB	REP
Sols artificialisés	3 700	4 900	5 600	7 200	6 400	6 300	6 300

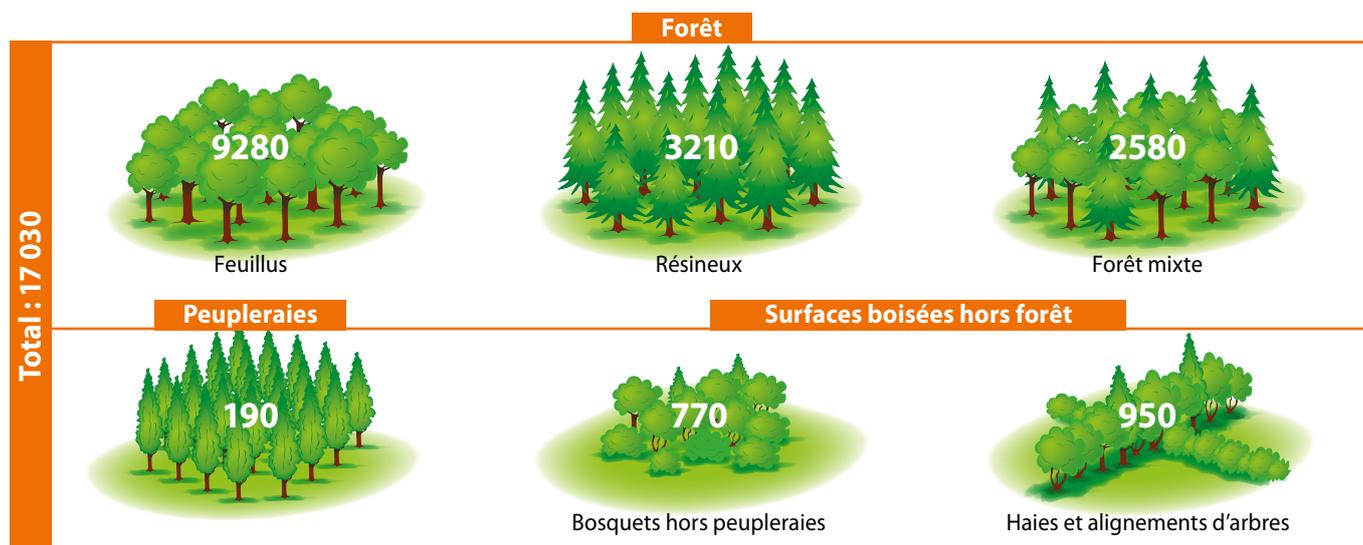
- Evolution des surfaces artificialisées selon les scénarios

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 (33 000 ha par an de 2006 à 2014). La forêt a gagné sur les surfaces agricoles et sur les friches et landes, également générées en partie par la déprise agricole depuis les années 1950. On constate encore aujourd'hui un transfert de la catégorie « landes » vers la catégorie « forêt » : un effet à retardement de la déprise agricole des décennies passées, qui voit les champs passer sous le statut de landes avant de devenir une forêt véritable.

L'enquête TERUTI-LUCAS sur l'occupation du territoire offre une vision globale des espaces boisés. La forêt dite « de production » totalise 15,4 Mha, et les surfaces boisées hors forêt (bosquets, haies et alignements d'arbres) environ 2 millions, soit un total de surfaces arborées de 17 Mha, resté stable depuis 2006 : l'accroissement des surfaces de forêt compensent la perte des surfaces de bosquets et de haies, qui se poursuit.

⁶⁴ Moyenne sur 20 ans. Sur 2006-2014, la moyenne est même de 77 000 ha par an.
⁶⁵ Il n'est d'ailleurs pas possible de tracer des tendances de long terme au niveau régional, du fait de discontinuités dans les données TERUTI.



• Les surfaces boisées en France (milliers d'hectares en 2014). (Cf: Tableau détaillé en page 99)

Dans le scénario tendanciel, l'artificialisation grignote à la fois les surfaces agricoles et la forêt, et cette dernière régresse légèrement. Dans le scénario Afterres2050 et ses variantes, elle progresse au contraire légèrement.

Milliers d'hectares	2010	2030	2050	2050	2050	2050
		Afterres	Tendanciel	Afterres	SAB	REP
Forêts, peupleraies et autres espaces boisés	17 000	17 100	16 800	17 200	17 200	17 200

• Evolution des surfaces boisées selon les scénarios

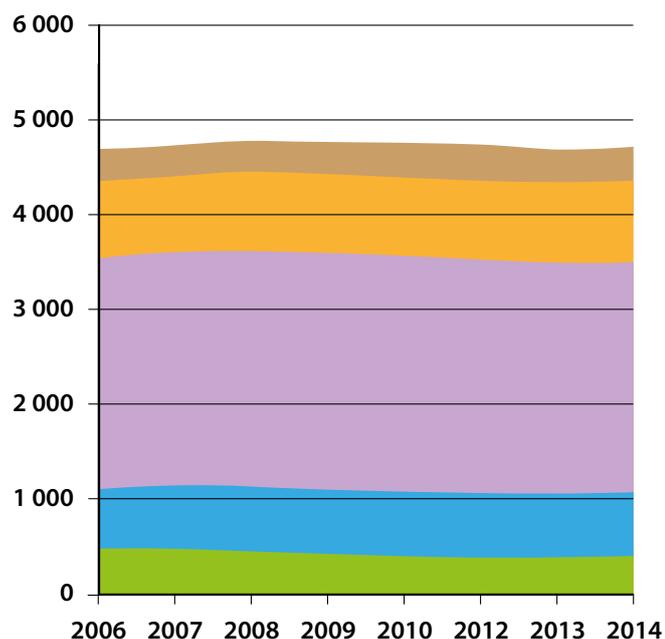
Les chiffres indiqués ne rendent pas compte de la place de l'arbre dans le scénario Afterres2050 : il faut ajouter les 10 % de surfaces agricoles en agroforesterie, et la généralisation à la totalité des surfaces agricoles des infrastructures agroéco-

logiques, dont la majorité comportent des éléments arborés. Afterres2050 multiplie à volonté les arbres des champs comme les arbres des villes.

Les autres surfaces

L'ensemble « autres surfaces » est une agrégation d'éléments divers qui comprend surtout des espaces naturels ou semis naturels : landes, maquis et garrigues, lacs, étangs⁶⁶ et rivières, montagnes, roches et éboulis, plages, glaciers et neiges

éternelles... Ces surfaces représentent 4,8 millions d'hectares et les variations d'une année sur l'autre sont peu significatives. Elles restent stables et identiques pour chaque scénario.



- Superficies enherbées naturelles
- Rochers, éboulis
- Landes, friches, maquis, garrigues
- Eaux intérieures
- Autres (glaciers, zones humides, dunes, plages, zones interdites, lacs côtiers, sols nus naturels...)

• Evolution des surfaces autres que agricole, forêt et surfaces artificialisées

⁶⁶ 100.000 hectares de lacs et étangs produisent 60 000 tonnes de carpes, gardons, tanches et brochets.

Surfaces agricoles

Du local au régional, du régional au national

Les terres arables

Les cas types étudiés dans chaque région⁶⁷ permettent dans un premier temps de « reconstituer » l'assolement régional : par exemple en région Ile-de-France, le système « conventionnel céréales colza » représente 41 % de la surface agricole de la région, contre 20 % pour le système conventionnel incluant un protéagineux, et 35 % incluant de la betterave. Les systèmes Bio et pro-

duction intégrée actuels représentent, en 2010, moins de 5 % de la surface totale. Le tableau ci-dessous indique, pour chaque cas type, la durée de la rotation et la part de chaque type de culture dans cette rotation : par exemple 2 blés et 1 colza sur 3 ans pour les systèmes les plus simples.

Ile de France - 2010	Conventionnel céréales - colza	Conventionnel céréales pois colza	Conventionnel céréales colza betterave	AgriBio autonome N	AgriBio importateur N	Production intégrée	TOTAL
Part du système dans l'assolement	41 %	20%	35 %	1 %	1 %	2 %	100 %
Durée de la rotation (ans)	3	5	5	9	7	5	
Céréales	2	3	3	4	3	2	67 %
Oléagineux	1	1	1	1	1	1	20 %
Protéagineux		1		1	2	1	5 %
Luzerne				2			< 1 %
Cultures industrielles			1	1	1	1	8 %

- Description des principaux systèmes de rotation en Île-de-France en 2010.

Dans la vision 2050, tous les systèmes évoluent. Il ne s'agit pas simplement d'augmenter la part des systèmes Bio et Intégré, mais aussi de veiller à la cohérence du bilan d'azote pour les systèmes Bio par exemple, pour éviter de les faire dépendre des autres systèmes pour leur fourniture d'azote. On notera que les

protéagineux et la luzerne voient leur part augmenter très significativement, ce qui s'effectue nécessairement au détriment des autres cultures, et notamment des céréales qui représentent les deux tiers de la sole de 2010. Dans le système AgriBio « autonome », une partie de la luzerne est conservée sur place.

Ile de France - 2050	Conventionnel céréales, pois, colza	Conventionnel céréales, colza, betterave	AgriBio autonome N	AgriBio importateur N	Production intégrée avec betterave	Production intégrée sans betterave	TOTAL
Part du système dans l'assolement	5 %	5 %	30 %	15 %	30 %	10 %	100 %
Durée de la rotation (ans)	5	5	8	6	6	5	
Céréales	3	2	4	3	3	3	51 %
Oléagineux	1	1	1	1	1	1	16 %
Protéagineux	1	1	1	2	1	1	19 %
Luzerne			2				8 %
Cultures industrielles		1			1		7 %

- Description des principaux systèmes de rotation en Île-de-France dans Afterres2050.

Le travail mené sur les différentes régions conduit à fixer les règles générales suivantes :

- les protéagineux doivent représenter 25 % de la surface COP (céréales et oléoprotéagineux),
- la culture totale de légumineuses, y compris la luzerne, doit représenter 25 % de la surface totale de terres arables, y compris les cultures fourragères annuelles.

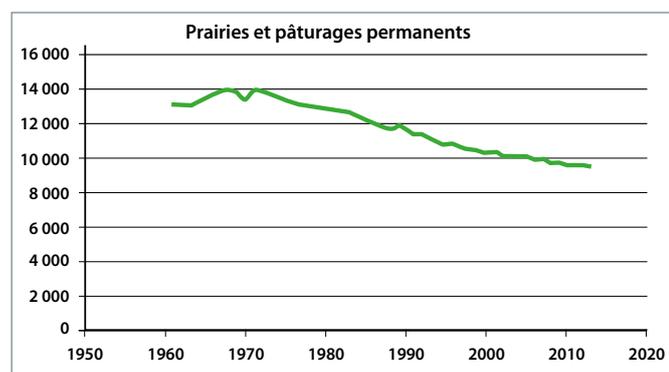
Les surfaces en céréales diminuent donc nécessairement dans les régions de grande culture, de même que les surfaces en oléagineux, au profit des légumineuses en général.

⁶⁷Voir « La fabrique d'Afterres2050 » sur les questions de méthode, et le travail de régionalisation du scénario.

Vaches et prairies

Donner la priorité aux régions riches en prairies naturelles

Le redimensionnement du cheptel bovin, de manière à le faire mieux correspondre à nos futurs besoins en lait et en viande, implique une révision complète de sa répartition géographique. Le premier paramètre est la notion de lien avec les prairies naturelles. L'objectif est de conserver autant que possible les prairies permanentes et d'enrayer leur diminution. Leur surface est passée de 14 millions d'hectares en 1970 à 9,5 millions en 2013.



- Evolution des surfaces de prairies et pâturages permanents depuis 1960, en milliers d'hectares.

La « superficie toujours en herbe⁶⁸ » (STH) des exploitations agricoles représente 7,7 millions d'hectares, auxquels s'ajoutent les espaces collectifs. On divise cette STH entre la prairie « productive », qui produit en moyenne 5 tonnes de matière sèche par hectare, et la prairie « peu productive » constituée de parcours, d'alpages et de landes, produisant en moyenne 1 tonne de matière sèche par hectare. Il restera dans Aferres2050 6,4 Mha de prairies productives en 2050, et 2,4 Mha de prairies peu productives, ce qui fait un équivalent de 6,9 Mha de prairies productives, pour nourrir en 2050 un cheptel de 3,7 millions de vaches et 8,5 millions de brebis et chèvres.

Donner la priorité aux prairies naturelles revient à lier le cheptel à la surface de prairies naturelles. Toutes les autres surfaces fourragères sont par définition des terres arables, qui peuvent avoir d'autres usages que la production d'herbe. Une bonne partie des prairies permanentes ne peut au contraire pas avoir d'autres fonctions que la production d'herbe, la seule alternative étant la conversion en landes puis en forêt.

Si le cheptel bovin était réparti de manière homogène sur l'ensemble du territoire en fonction des surfaces de prairies naturelles, le « chargement moyen⁶⁹ » serait de 0,55 vache par hectare. Cet indicateur est aujourd'hui de 1,2, et varie entre 0,17 en PACA et 7,2 en Bretagne. Les prairies de PACA ne supportent qu'un faible chargement, et la Bretagne a fait le choix des cultures fourragères annuelles plutôt que celui des prairies permanentes.

Une autre répartition géographique

Bretagne et Pays de Loire possèdent à elles seules le quart du cheptel bovin national. Elles connaissent aussi un chargement élevé, ce qui signifie que des terres arables sont massivement utilisées pour produire des fourrages. Il est plus facile de les convertir en terres à céréales que les prairies de montagne, et la réduction du cheptel y est plus forte que dans les régions de montagne. Sans toutefois dépasser un facteur 3, proposé comme une valeur limite à ne pas dépasser pour des raisons socio-économiques.

Le troupeau laitier diminue dans toutes les régions, sauf en Ile de France et en PACA, pour augmenter leur degré d'autonomie en lait. Elles n'ont cependant aucune chance de devenir totalement autonomes : il faudrait pour cela que l'Ile de France convertisse 80 % de ses terres à blé en prairies, et que PACA importe massivement des fourrages. La hausse du cheptel a été limitée à un facteur 2 dans ces régions. Le nouvel équilibre proposé cherche à respecter le caractère de chaque région, en donnant une orientation laitière plus ou moins prononcée. Ainsi le cheptel

	1970	2010	2050
Prim'Hosstein	4 000	2 500	forte diminution
Montbéliarde	810	590	Stable
Normande	1 900	500	Stable
Simmental et autres laitières	560	190	Stable
Total troupeau laitier⁷⁰	7 280	3 800	2 300
Charolais	1 110	2 100	forte diminution
Limousin	460	1 100	forte diminution
Blonde d'Aquitaine	170	570	forte diminution
Aubrac, Salers et autres races	1 100	450	Stable
Total troupeau allaitant	2 800	4 200	1 300
Production de lait (milliards de litres)	22	23	15
Production de viande (millions de tonnes)	1,6	1,5	0,7

- Les races bovines en 1970 et 2010, et une vision possible Aferres2050.

⁶⁸ On parle également de prairies permanentes ou encore de prairies naturelles, ces trois termes sont équivalents. Les prairies artificielles et les prairies temporaires ne sont pas comprises dans la STH : il s'agit de terres arables ensemencées, souvent en légumineuses dans le cas des prairies artificielles (luzerne, trèfle, sainfoin), et en graminées dans le cas des prairies temporaires (ray-grass, dactyle, féruque élevée, brome).

⁶⁹ En ne considérant ici que les prairies permanentes. Habituellement le chargement est ramené à l'ensemble des surfaces fourragères, c'est-à-dire les prairies (permanentes, temporaires ou artificielles) et les cultures fourragères (maïs ensilage, choux et navets fourragers, etc.). De plus, nous avons ici utilisé la notion de sur-

faces équivalent en prairie productive : 1 ha de prairie peu productive (PPP) est ramenée à 0,2 ha équivalent de prairie productive. Dans certaines régions, notamment en PACA et Languedoc-Roussillon, la proportion de PPP est en effet nettement plus élevée que dans les autres régions, et l'indicateur « chargement » serait faussé sans cette correction.

⁷⁰ Les races mixtes ont été classées en partie dans le troupeau laitier (Normande, Montbéliarde, Simmental), en partie dans le troupeau allaitant (Aubrac, Salers, Tarentaise).

bourguignon, limousin ou midi-pyrénéen reste très majoritairement allaitant. Nous avons esquissé ce que pourraient devenir ces troupeaux en termes de races bovines ; il s'agit surtout de visualiser la situation actuelle, comparée à la situation de 1970. La production de lait a peu varié entre 1970 et 2010, alors que les effectifs étaient divisés par deux. C'est la productivité par tête qui a considérablement augmenté. La Prim'Holstein a perdu 1,5 million de têtes entre 1970 et 2010, et en perdrait encore autant entre 2010 et 2050 selon Afterres2050. Elle représenterait néanmoins encore la moitié du cheptel laitier total. Les races mixtes comme la Montbéliarde ou la Normande, verraient leurs effectifs se maintenir. Le troupeau allaitant a au contraire considérable-

ment augmenté depuis 1970, passant de 2,8 millions de vaches à 4,2 en 2010. En 2050, les races dominantes – Charolaise, Limousine et Blonde d'Aquitaine – verraient leurs effectifs diminuer fortement dans toutes les régions, y compris en régions de montagne, avec un niveau qui serait la moitié des effectifs de 1970. Les races de montagne conserveraient leurs effectifs actuels, pour des raisons d'adaptation aux terroirs et d'amélioration de la diversité des races.

Une perte limitée de prairies naturelles

Le chargement se maintient à un niveau proche de l'actuel. Il reste stable dans les régions de montagne en 2050 ; le cheptel

	2010		Afterres2050	
	 Vaches allaitantes	 vaches laitières	 Vaches allaitantes	 Vaches laitières
Régions de montagnes	1600	900	500	700
Grand Ouest	1000	1800	200	800
Régions Méditerranéennes	140	50	100	30
Autres	1800	1100	500	800

- Répartition des cheptels par grandes régions, en milliers de têtes.

	2010		Afterres2050		TENDANCIEL 2050	
	Prairies permanentes (milliers ha) ⁷¹	Chargement (vache / ha éq. PP)	Prairies permanentes (milliers ha)	Chargement (vache / ha éq. PP)	Prairies permanentes (milliers ha)	Chargement (vache / ha éq. PP)
Régions de montagne (Auvergne, Limousin, Rhône-Alpes, Midi-Pyrénées, Franche-Comté)	3 200	0,79	2 600	0,77	2 500	1,48
Grand Ouest (Bretagne, Pays de Loire, Basse Normandie)	1 400	1,95	1 400	1,29	1 300	1,77
Régions méditerranéennes (PACA, Languedoc-Roussillon, Corse)	2 800	0,91	2 400	0,88	2 300	1,57
Autres régions	400	0,41	300	0,33	200	1,00
TOTAL	7 800	1,02	6 700	0,90	6 300	1,56

- Chargements et surfaces de prairies naturelles par grandes régions.

a diminué, un peu pour le troupeau laitier et significativement pour le troupeau allaitant. Il se rééquilibre dans l'Ouest, qui conserve ses prairies naturelles et où la diminution du cheptel permet de désintensifier les élevages laitiers. Les prairies naturelles poursuivent leur déclin tendanciel : la perte de 1,1 million d'hectares est toutefois nettement moins forte que les 4 millions d'hectares perdus entre 1970 et 2010.

Dans le scénario Tendanciel, la diminution de la surface en prairies naturelles est plus importante que dans le scénario Afterres2050,

en partie du fait d'une moins bonne maîtrise de l'artificialisation et d'un moins fort lien aux prairies naturelles. Le maintien d'un troupeau bovin à 6,6 millions de vaches, laitières ou allaitantes, conduit à une forte augmentation du chargement, qui passe de 1 vache par ha de prairie naturelle aujourd'hui à 1,56.

Cet indicateur signifie que les élevages des régions de montagne s'intensifient, sans pour autant égaler les régions laitières de l'Ouest.

⁷¹ Le chargement est défini ici comme le nombre de vaches par hectare de prairie permanente productive équivalente (donc sans les surfaces fourragères, qui sont des terres arables), les prairies peu productives étant comptées à l'équivalence 1 pour 5.

L'évolution des surfaces agricoles dans Afterres2050 et ses variantes

La surface agricole utile (SAU) totale diminue d'environ 1 million d'hectares dans tous les scénarios, sous la pression de l'artificialisation. Le scénario tendanciel se distingue par le maintien des cultures fourragères et une perte plus importante de prairies permanentes naturelles. Inversement, le scénario Afterres2050

garde un peu plus de prairies naturelles, et perd 2 millions d'hectares de cultures fourragères, dont la moitié est convertie en cultures de grain, de fruits et de légumes. La variante SAB se caractérise par une plus grande surface de fourrages au détriment des cultures de grains, et la variante REP par le schéma inverse.

Surfaces, en milliers d'hectares	2010	2050		2050		
		Afterres	Tendanciel	Afterres	SAB	REP
Blé tendre	5 000	5 000	5 600	5 000	4 700	5 300
Orge	1 700	1 500	1 400	1 300	1 200	1 300
Blé dur et riz	500	600	800	600	600	600
Maïs grain	1 600	1 300	1 200	1 100	1 000	1 100
Autres céréales	500	500	400	400	400	500
Oléagineux	2 200	2 300	2 400	2 300	2 100	2 300
Protéagineux	300	1 300	400	2 300	2 200	2 300
SOUS TOTAL GRAINS	11 900	12 500	12 200	13 000	12 100	13 500
Maïs fourrage	1 400	900	1 300	400	400	500
Prairies temporaires légumineuses	300	700	300	1 200	2 200	700
Prairies temporaires mélangées	2 400	1 500	2 200	700	700	700
Prairies temporaires graminées	600	400	600	200	200	200
Autres cultures annuelles à usage non alimentaire	0	200	200	200	200	200
SOUS TOTAL FOURRAGES	4 700	3 800	4 600	2 700	3 600	2 200
Prairies naturelles permanentes productives	7 400	6 900	5 800	6 400	6 500	6 400
Prairies peu productives	2 400	2 400	2 300	2 400	2 400	2 400
SOUS TOTAL PRAIRIES NATURELLES	9 700	9 200	8 100	8 700	8 900	8 800
Betterave sucrière	380	390	450	390	340	390
Pomme de terre	160	160	210	160	140	160
Vignes	790	750	740	700	690	750
Arboriculture	140	230	120	320	210	200
Légumes	260	390	210	530	530	520
Autres	140	140	130	140	200	210
FRUITS, LEGUMES, CULTURES INDUSTRIELLES OU PERMANENTES	1 900	2 100	1 900	2 200	2 100	2 200
TOTAL	28 200	27 500	26 800	26 800	26 800	26 800

- Evolution des surfaces pour les principales cultures et prairies.

Le jeu des surfaces, pertes et gains

La réorganisation des surfaces est un vaste jeu de vases communicants : ce qui est gagné par la ville est perdu par la campagne, la forêt mange les pâturages et les cultures à grains concurrencent les cultures fourragères. Mais ces transvasements ne sont pas toujours très fluides. Les caractéristiques des sols imposent leurs exigences : les prairies de montagne, pour peu qu'elles soient mécanisables, font rarement de bonnes terres à blé, mais évoluent plus spontanément vers la forêt. On hésitera à goudronner les terres arables, même si la pression est forte, ou à abattre les forêts. Il est souvent facile de convertir du maïs ensilage en céréales, et réciproquement. Nos hypothèses d'évolution des surfaces obéissent à différentes logiques. Certaines évolutions

obéissent à des logiques autonomes. Par exemple l'évolution des surfaces artificialisées est le résultat des politiques de (non-) maîtrise de l'étalement urbain, et non celui d'une modification des régimes alimentaires ou des systèmes agricoles.

D'autres sont la conséquence de « tout le reste » et servent de variables d'ajustement : c'est le cas de la forêt, qui ne fait pas l'objet aujourd'hui de politiques volontaristes d'expansion. Il existe des mécanismes de frein à la déforestation, qui limitent les phénomènes d'empiètement. L'afforestation quant à elle résulte principalement de la déprise des terres agricoles. La forêt peut donc se développer là où les surfaces agricoles – c'est-à-dire concrètement les prairies – diminuent plus vite que l'artificialisation⁷².

	Milliers d'hectares		Δ Artif	Δ STH	Δ Autre	Δ Forêt	Δ Arable	Δ FRG	Δ COP	
Champagne-Ardenne	Perte de prairies permanentes supérieure au gain en surfaces artificialisées	Forêt stable	12	-77	7	0	59	-28	87	
Corse			6	-11	16	-13	1	1	1	
Bourgogne		Gain en forêt	30	-295	8	52	168	-51	219	
Lorraine			21	-111	1	18	77	-36	113	
Franche-Comté			22	-113	2	31	75	-38	113	
Auvergne			26	-239	10	72	112	-126	237	
Limousin	28		-75	6	40	-37	-111	74		
Midi-Pyrénées	Perte de prairies permanentes inférieure au gain en surfaces artificialisées	Forêt stable	165	-10	32	0	-197	-324	127	
Rhône-Alpes			167	-131	71	0	-94	-124	29	
Haute-Normandie			23	0	0	0	-23	-34	11	
Basse-Normandie			39	0	9	0	-49	-145	96	
Pays de la Loire			146	0	25	0	-172	-411	240	
Bretagne			140	141	58	0	-253	-402	149	
Poitou-Charentes			63	0	10	0	-73	-158	85	
Languedoc-Roussillon			133	-14	-56	0	-64	-46	-18	
Provence-Alpes-Côte d'Azur			92	-55	2	0	-39	-28	-11	
Nord-Pas-de-Calais			36	0	19	0	-55	-34	-21	
Alsace			39	0	-5	0	-34	-7	-27	
Aquitaine			134	0	68	0	-202	-131	-71	
Île-de-France			30	2	26	0	-59	20	-79	
Centre			Gain en forêt	96	0	34	21	-152	-38	-113
Picardie				23	0	32	8	-63	12	-75

Δ : gain ou perte en surfaces – Artif : surfaces artificialisées – STH : surfaces toujours en herbe – FRG : production fourragère – COP : céréales et oléoprotéagineux

- Evolution des surfaces par catégories et par région, en milliers d'hectares (Afterres2050 vs 2010).

En travaillant à l'échelle régionale, on rencontre 4 types de situations. Si la perte de prairies permanentes est supérieure au gain en surfaces artificialisées, les terres arables progressent.

- **Situation type A.** Dans certaines régions, ces prairies sont intégralement converties en terres arables : c'est le cas de Champagne-Ardenne.
- **Situation type B.** Dans d'autres régions, une partie de ces prairies est gagnée par la forêt : c'est le cas des régions de montagne : Auvergne, Franche-Comté, Bourgogne et Lorraine.

Si l'artificialisation est supérieure aux pertes de prairies naturelles, dans ce cas elle gagne également sur les terres arables.

- **Situation type C.** Dans la majorité des régions, la forêt reste alors stationnaire : elle ne régresse pas, mais ne progresse pas non plus, afin de ne pas perdre plus de terres arables.
- **Situation type D.** En Picardie et région Centre, le groupe de travail réuni pour la régionalisation a décidé d'adopter une hypothèse de progression de la forêt, ce qui implique une plus forte diminution des surfaces arables.

⁷² On raisonne ici en « bilan net », qui tient compte des flux inverses et indirects : les surfaces artificialisées peuvent gagner sur les terres arables qui elles même empiètent sur les prairies, celles-ci étant en outre gagnées par la forêt. Localement on peut assister à des phénomènes inverses, où des terres arables sont converties en prairie ou en forêt.

On peut noter quelques particularités : par exemple la Bretagne est la seule région qui voit progresser les prairies naturelles, conséquence du choix d'un retour au pâturage dans une région où le cheptel bovin est particulièrement important, mais où les prairies permanentes sont peu développées.

Les surfaces de cultures fourragères sont calculées pour correspondre aux besoins du cheptel au niveau régional (le calcul est

un peu plus complexe en réalité, car il tient compte également des besoins d'azote apportés par les cultures de légumineuses dédiées à cette fonction). Il en résulte alors la variation de la COP – surfaces en céréales et oléoprotéagineux – égale à la différence entre les surfaces arables et les surfaces de cultures fourragères.

Milliers d'hectares	2010	2030	2050	2050	2050	2050
		Afterres	Tendanciel	Afterres	SAB	REP
Céréales oléoprotéagineux	11 900	12 500	12 200	13 000	12 100	13 500
Fruits, légumes, vignes, cultures industrielles ou pérennes	1 900	2 100	1 900	2 200	2 100	2 200
Cultures fourragères et prairies temporaires	4 700	3 600	4 500	2 500	3 500	2 100
Prairies naturelles	9 700	9 200	8 100	8 700	8 900	8 800
SAU totale	28 200	27 300	26 600	26 500	26 600	26 600
Forêts, peupleraies et autres espaces boisés	17 000	17 100	16 800	17 200	17 200	17 200
Landes, friches, jachères	3 000	3 000	2 500	3 000	3 000	3 000
Eaux, roches, autres	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800
Sols artificialisés	4 900	5 600	7 200	6 400	6 300	6 300
TOTAL	54 900					

- Evolution des surfaces par principales catégories.

Attitudes 2050

Produire

Les productions végétales agricoles

La valeur énergétique de la production agricole primaire (hors résidus de cultures), exprimée en Pétajoules (PJ), passe de près de 2 800 PJ aujourd'hui à 2 900 en 2050⁷³. Ces valeurs incluent la production de cultures associées et de cultures intermédiaires en complément des cultures principales. Le scénario Afterres2050 n'est donc pas un scénario de décroissance ou

d'extensification de la production végétale. Dans tous les scénarios, y compris le tendancier, la production de grain diminue, car le rendement baisse sous l'effet du changement climatique. La diminution est plus prononcée pour les scénarios à forte proportion de Bio (Afterres2050 et sa variante SAB), bien qu'elle soit atténuée grâce à la présence des cultures associées.

Productions, milliers de tonnes	2010	2030	2050	2050	2050	2050
		Afterres	Tendancier	Afterres	SAB	REP
Blé tendre	35 600	30 200	37 000	25 800	19 700	32 800
Orge	11 600	8 100	8 200	5 500	3 900	7 200
Blé dur et riz	2 500	2 300	3 700	2 100	1 600	2 600
Maïs grain	15 000	10 400	8 200	6 900	5 700	7 200
Autres céréales	2 800	2 000	1 700	1 400	1 000	1 900
Oléagineux	7 000	6 000	6 400	5 200	3 800	5 300
Protéagineux	1 200	4 400	1 400	6 800	4 500	7 400
SOUS TOTAL GRAINS	75 800	63 400	66 700	53 800	40 100	64 400
Maïs fourrage	16 900	9 900	14 400	4 100	3 300	4 700
Prairies temporaires légumineuses	2 400	5 900	2 300	9 200	18 600	5 100
Prairies temporaires mélangées	14 300	9 200	13 800	4 300	4 300	4 300
Prairies temporaires graminées	3 700	2 300	3 800	1 000	1 000	1 000
Autres cultures fourragères	1 000	600	700	300	300	300
SOUS TOTAL FOURRAGES	38 300	27 900	35 000	18 900	27 400	15 500
Prairies naturelles permanentes productives	38 400	34 100	28 900	30 300	32 500	30 000
Prairies peu productives	2 800	3 200	3 500	3 600	3 600	3 600
SOUS TOTAL PRAIRIES	41 200	37 300	32 400	33 800	36 000	33 500
Betteraves	33 500	31 900	38 300	31 200	24 000	29 600
Pomme de terre	7 500	6 300	8 600	5 400	3 800	5 600
Vigne	6 000	5 000	5 700	4 200	3 500	4 900
Vergers	2 800	3 100	2 300	3 500	3 000	3 100
Légumes	5 900	8 900	4 800	12 000	12 000	11 700
Autres	2 100	2 100	1 800	2 000	3 500	3 500
FRUITS, LEGUMES, CULTURES INDUSTRIELLES OU PERMANENTES	57 800	57 400	61 500	58 400	49 800	58 500
Production de cultures associées	0	1 500	0	2 900	4 200	4 800
Production de cultures intermédiaires	1 900	27 300	15 900	52 900	52 000	33 800
TOTAL	214 900	214 900	211 500	220 800	209 500	210 400
VALEUR ENERGETIQUE TOTALE (PJ) ⁷⁴	2 800	2 810	2 690	2 900	2 870	2 690
Productivité (GJ/ha)	99	103	101	109	108	101
Total grains y.c. cultures associées	75 800	64 900	66 700	56 700	44 300	69 200
Total fourrages, prairies et cultures intermédiaires	81 400	92 500	83 300	105 600	115 400	82 800

- Evolution des principales productions végétales selon les scénarios.

⁷³L'équivalent de respectivement 67 et 69 millions de tonnes de pétrole.

⁷⁴La comptabilité en valeur énergétique permet d'additionner des productions aux caractéristiques très différentes. Le PétaJoule vaut 1018 Joule (1 milliard de milliard). 42 PJ équivaut à 1 million de tonne de pétrole. Le GigaJoule vaut 109 Joule. 42 GJ équivaut à 1 tonne de pétrole.

La production des matières fourragères – herbe pâturée, cultures fourragères, cultures intermédiaires – augmente significativement dans les deux scénarios Afterres2050 et sa variante SAB,

alors qu'elle reste globalement inchangée dans le tendanciel et dans la variante REP : les cultures intermédiaires font plus que compenser la diminution des fourrages et des surfaces de prairie.

Rendements en t/ha	2010	2030	2050	2050	2050	2050
		Afterres	Tendanciel	Afterres	SAB	REP
Blé tendre	7,1	6,0	6,6	5,2	4,2	6,2
Orge	6,8	5,4	5,9	4,2	3,3	5,5
Maïs grain	9,4	8,0	6,8	6,3	5,7	6,5
Autres céréales	5,6	4,0	4,3	3,5	2,5	3,8
Oléagineux	3,2	2,6	2,7	2,3	1,8	2,3
Protéagineux	4,0	3,4	3,5	3,0	2,0	3,2
SOUS TOTAL GRAINS	6,4	5,1	5,5	4,1	3,3	4,8
Maïs fourrage	12,1	11,0	11,1	10,3	8,3	9,4
Prairies temporaires légumineuses	8,0	8,4	7,7	7,7	8,5	7,3
Prairies temporaires mélangées	6,0	6,1	6,3	6,1	6,1	6,1
Prairies temporaires graminées	6,2	5,8	6,3	5,0	5,0	5,0
SOUS TOTAL FOURRAGES	8,1	7,8	7,8	7,6	7,8	7,4
Prairies naturelles permanentes productives	5,2	4,9	5,0	4,7	5,0	4,7
Prairies peu productives	1,2	1,3	1,5	1,5	1,5	1,5
SOUS TOTAL PRAIRIES	4,2	4,1	4,0	3,9	4,0	3,8
Betteraves	88,2	81,8	85,1	80,0	70,6	75,9
Pomme de terre	46,9	39,4	41,0	33,8	27,1	35,0

- Rendement des principales cultures agricoles selon les scénarios⁷⁵. Les données sont exprimées en tonnes brutes (y compris les betteraves et pommes de terre), sauf pour les prairies, les cultures fourragères et les cultures intermédiaires, dont la production est indiquée en tonnes de matières sèches.

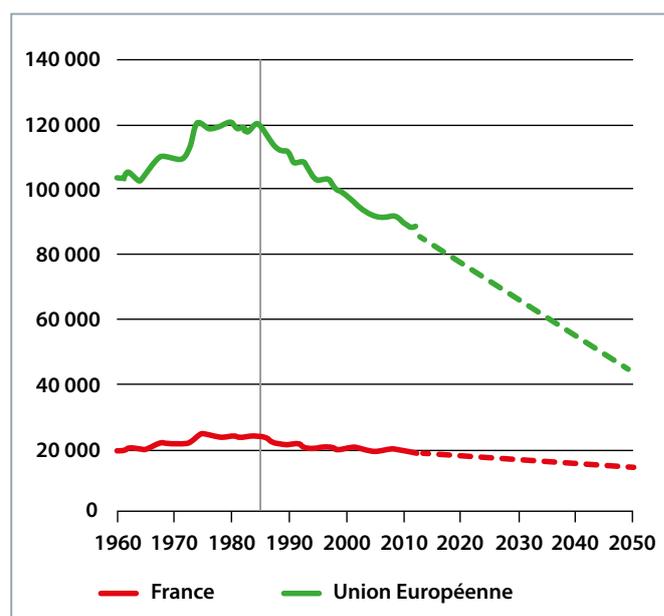
Cheptels & productions animales

Ruminants

Un cheptel bovin en diminution

Le cheptel bovin a atteint son effectif maximal en France comme en Europe dans les années 1970. Depuis 1985, il ne cesse de diminuer. Il est passé de 120 millions de têtes (tous effectifs confondus) à 90 millions en 2010 selon EUROSTAT. A ce rythme, il ne serait plus que de 45 millions en 2050. En France, la tendance est également à la baisse, même si elle est moins prononcée. L'effectif maximum a été atteint en 1976 avec 24,1 millions de têtes, il est de 19 millions aujourd'hui. La prolongation de cette tendance conduirait à un effectif 14,3 millions de têtes, soit ¼ de moins qu'aujourd'hui.

En Rhône-Alpes par exemple, la diminution en 10 ans des effectifs de vaches laitières est de 12 %, celle du nombre d'exploitations ayant des vaches laitières de 37 %, tandis que le nombre de vaches par exploitation passait de 25 à 35, soit une augmentation de 40 %. Une évolution qui est surtout due à la chute des troupeaux de Prim'Holstein, alors que les races de montagne comme la Tarentaise ou l'Abondance ont bien résisté, Reblochon, Beaufort et Tome des Bauges aidant.



- Evolution du cheptel bovin en Europe et en France depuis 1960, avec projection des tendances à l'horizon 2050. Nombre total de têtes.

⁷⁵Culture principale uniquement, non compris les autres productions sur la même parcelle : cultures associées, cultures intermédiaires, arbres.

Cette tendance n'est pas propre à Rhône-Alpes, puisque le cheptel laitier a diminué de 14 % dans le même temps au niveau national, et le nombre d'élevages en bovins lait de 36 %, tandis que les effectifs par élevage augmentaient de 38 %⁷⁶. Le même constat peut être fait dans chaque région, la tendance est partout la même, qu'il s'agisse du Grand Ouest comme des régions de montagne. Si la diminution des effectifs totaux et

l'augmentation des tailles de troupeau se poursuivaient de cette façon, il ne resterait plus que 2 millions de vaches laitières en France métropolitaine en 2050, réparties sur 14.000 exploitations agricoles avec des effectifs de 144 vaches : soit respectivement une chute de 46 % du cheptel laitier et de 83 % du nombre d'élevages.

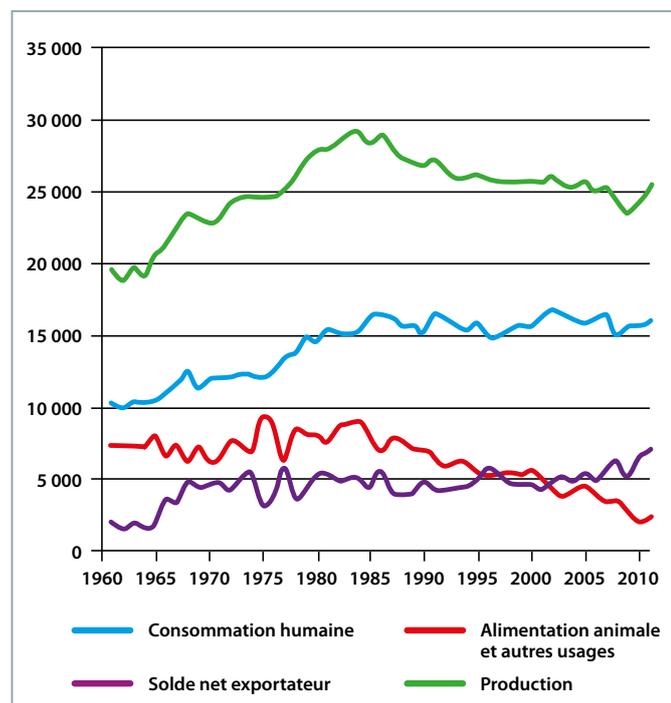
	2000	2010	Différence	Evolution, % annuel	2050	Chargement (vache / ha éq. PP)
Milliers de vaches laitières	4 324	3 712	-612	-1,5 %	2 016	-46 %
Vaches laitières par exploitation	34	45	11	2,9 %	144	219 %
Nombre exploitations ayant des vaches laitières	128 336	82 427	-45 909	-4,3 %	14 027	-83 %

- Evolution tendancielle des élevages bovin lait.

Un scénario « tendanciel » qui en réalité ne l'est guère...

La hausse de la demande mondiale en lait peut-elle contrecarrer cette évolution ?

La hausse des exportations nettes (solde export - import) constaté ces dernières années reste modeste, elle provient moins de la hausse de la production que de la diminution des usages hors consommation humaine, notamment de l'alimentation animale. Au niveau mondial, la production de lait augmente de 2,2 % par an et les flux d'exportation et d'importation de 3,1 %. Une situation a priori favorable pour un grand pays exportateur de lait comme la France. Mais est-ce si certain ?

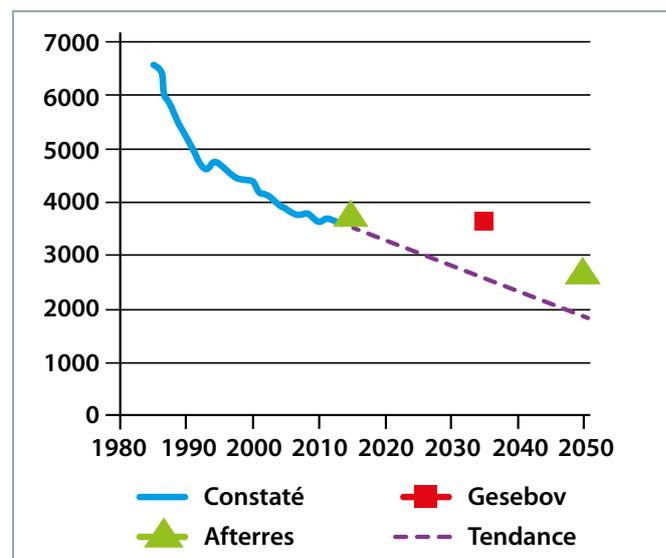


- Principales composantes du bilan d'approvisionnement en lait en millions de tonnes, 1960-2013 (FAO Stat).

La prospective GESEBOV, « émissions de gaz à effet de serre et consommations d'énergie de la ferme bovine française », à l'horizon 2035, pilotée par l'IDEELE, Institut de l'Élevage, considère que le scénario « tendanciel » est gouverné par la hausse de la demande mondiale en lait.

Le cheptel laitier en 2035 ne diminue que de 2 %, la production de lait passe à 9.000 litres en moyenne par vache, soit 32 millions de litres de lait par an. Notre scénario dit « Tendanciel » se rapproche de celui de GESEBOV : il est très proche quant aux effectifs, et la production en lait est de 7.700 litres, à mi chemin entre le niveau actuel et l'hypothèse adoptée par GESEBOV.

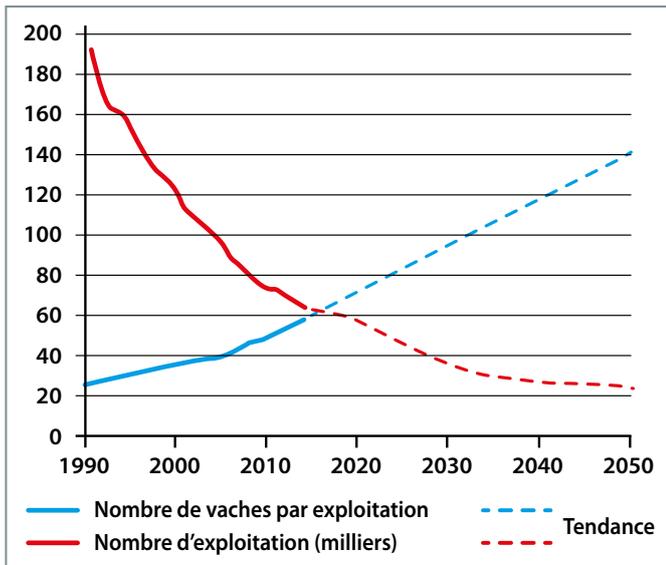
En réalité, ce scénario n'est guère « tendanciel », au sens où il s'agirait de prolonger dans l'avenir les tendances constatées ces dernières années.



- Evolution du cheptel bovin lait en France depuis les années 80, et projections : prolongation des tendances, scénario dit « tendanciel » de GESEBOV, et scénario Afterres2050.

En effet, celles-ci amènent à une chute drastique du cheptel et surtout du nombre d'élevages. Avec un risque de forte régression des prairies naturelles, car il est plus difficile d'amener paître des grands troupeaux (144 vaches en moyenne). Cette évolution conduit vers une intensification des élevages laitiers, une augmentation de la consommation d'ensilage de maïs qui posera des problèmes accrus de ressource en eau dans certaines régions, et une augmentation également de concentrés, détournant d'importantes quantités de céréales des marchés d'exportation.

⁷⁶ Source : AGRESTE, Statistique Agricole Annuelle, Recensement Agricole.



L'intensification des élevages laitiers amène aussi une moindre qualité et quantité de viande issue de ce troupeau, qu'il faudra donc compenser par une augmentation du cheptel allaitant⁷⁷. Le scénario Tendancier utilisé dans les deux exercices de prospective, aussi bien Afterres2050 que GESEBOV, sont en réalité des scénarios de rupture avec les tendances actuelles. Maintenir le cheptel à -2 % d'ici 2030 alors que le rythme est de -1,6% par an, soit -33 % en 25 ans, suppose bien une inversion de la courbe, et surtout des mécanismes qui permettraient cette inversion : notamment une double stabilité sur le long terme, à la fois du prix du lait⁷⁸ et des aliments pour le bétail.

- Evolution des effectifs de vache par exploitation et nombre d'exploitations bovin lait depuis 1990, et projection des tendances.

Les bovins

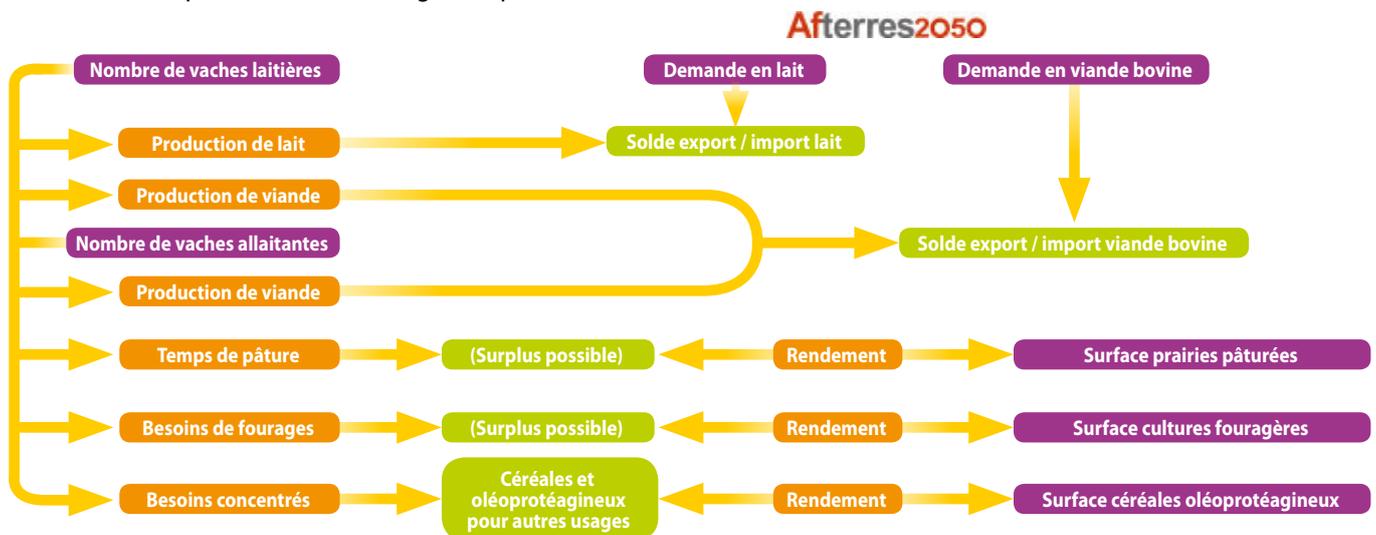
Afterres2050 adopte des hypothèses intermédiaires entre un scénario de prolongation des tendances et le scénario dit «Tendancier ». Le cheptel de vaches laitières, incluant les races mixtes, passe de 3,7 millions de têtes à 2,7 millions. La production de lait passe de 25 à 18 millions de tonnes, le solde exportateur se maintient, car la demande intérieure diminue fortement. Le troupeau allaitant est dimensionné de manière à satisfaire la demande intérieure en viande bovine. Il passe de 4,2 à 1,9 millions de vaches.

Le schéma ci-dessous visualise le raisonnement. La demande en lait et en viande bovine est déterminée par l'assiette et les hypothèses sur les échanges internationaux (maintien du solde exportateur de lait et amélioration de la balance commerciale sur la viande). Le troupeau laitier est dimensionné sur la demande en lait, il produit de la viande. Le troupeau allaitant est dimensionné sur le solde à fournir, compte tenu de la production de viande associée au troupeau laitier. La modification des élevages, avec moins de concentrés et plus de pâture, permet de maintenir les prairies naturelles en grande partie.

La production de viande passe de 1,5 à 0,9 million de tonnes. Les deux scénarios, Tendancier et la variante REP, sont très déficitaires en viande bovine. La production a diminué plus fortement que la consommation, dans les proportions différentes, mais le solde final est similaire.

Le scénario Afterres2050 et sa variante SAB permettent au contraire de diminuer le solde déficitaire. Les besoins en fourrages et en concentrés diminuent plus fortement que la quantité d'herbe pâturée puisque le temps de pâture augmente. Les trois variantes, avec SAB et REP, ne présentent pas de différences significatives : le cheptel dans REP est un peu plus intensif que dans les autres, alors que le temps de pâture est un peu plus élevé dans SAB.

Les émissions de méthane entérique sont réduites de 40 %, essentiellement grâce à la diminution du cheptel, et secondairement (10 % de réduction) en agissant sur les pistes de recherche actuellement explorées : génétique, rations alimentaires, vaccination (inhibition des bactéries méthanogènes).



- Algorithme de dimensionnement des cheptels bovin.

⁷⁷ Puillet L., Agabriel J., Peyraud J.L., Faverdin P., 2014. Modelling cattle population as lifetime trajectories driven by management options: a way to better integrate beef and milk production in emissions assessment. Livestock Science, Juillet 2014, Volume 165, Pages 167-180.

⁷⁸ Le scénario Tendancier de GESEBOV repose sur un prix de 350 €/tonne.

		2010	2030	2050			
			Afterres	Tendancier	Afterres	SAB	REP
Caractéristiques du troupeau bovin							
Cheptel présent (mères)	Milliers de têtes	7 960	6 120	6 630	4 290	4 440	4 350
Dont vaches laitières	Milliers de têtes	3 730	3 190	3 220	2 660	2 820	2 710
Dont vaches allaitantes	Milliers de têtes	4 230	2 930	3 410	1 630	1 620	1 640
Production de lait	Milliers de tonnes	24 830	21 000	26 160	17 320	17 650	18 580
Solde exportateur net	Milliers de tonnes	6 900	6 600	7 300	6 900	7 700	4 100
Production de viande (ensemble du troupeau)	Milliers de tonnes (carcasse)	1 520	1 200	1 340	850	860	880
Solde exportateur net	Milliers de tonnes (carcasse)	-110	-110	-520	-90	-10	-480
Alimentation du troupeau bovin							
Fourrages	Milliers de tonnes (matière sèche)	35 000	24 500	32 000	15 500	15 500	16 500
Herbe pâturée	Milliers de tonnes (matière sèche)	34 000	30 000	27 000	23 800	24 800	23 900
Concentrés	Milliers de tonnes	12 300	9 000	11 600	5 800	5 700	6 300
Emissions de méthane par fermentation entérique	MtégCO ₂	44	35	37	25	26	25

- Le cheptel bovin selon les scénarios.

Ovins et caprins

La France est déficitaire en viande ovine et importe la moitié de sa consommation : principalement du Royaume-Uni, devant l'Irlande et la Nouvelle-Zélande. Qui plus est, le cheptel est en diminution (d'un tiers depuis 1990). Le cheptel ovin (laitier et allaitant) augmenterait de 20 % environ d'ici 2050⁷⁹. L'offre en viande ovine permettrait alors de couvrir la demande intérieure. Le troupeau caprin de son côté reste inchangé.

Et que deviennent nos verts pâturages ? Vers de nouveaux systèmes agro-pastoraux

Quel est l'impact de la réduction du cheptel bovin sur les prairies naturelles ? Leur devenir est lié non seulement aux effectifs de ruminants, mais aussi et surtout à leur régime alimentaire.

Avec une réorientation vers la pâture, le scénario Afterres2050 permet de valoriser 90 % des ressources fourragères totales. Le scénario tendancier, comme aujourd'hui, en valorise 95 %. Le scénario REP quant à lui utilise la totalité de la ressource par une gestion optimisée. Le scénario SAB est celui pour lequel les excédents sont les plus importants. Cet excédent important est dû à l'importance des légumineuses nécessaires à assurer une fourniture d'azote suffisante, dans un contexte de généralisation de l'agriculture biologique. Le scénario SAB valorise les prairies naturelles aussi bien que les autres variantes d'Afterres2050.

Ce stock fourrager excédentaire (provenant à la fois des prairies temporaires et des prairies permanentes) peut être utilisé

		2010	2030	2050	2050	2050	2050
			Afterres	Tendancier	Afterres	SAB	REP
Prairies naturelles productives	Milliers d'hectares	7 400	7 000	5 800	6 500	6 600	6 500
Prairies naturelles peu productives	Milliers d'hectares	2 400	2 400	2 300	2 400	2 400	2 400
Production d'herbe en prairies naturelles	Milliers de tonnes (matière sèche)	41 200	37 700	32 400	34 600	36 400	34 200
Prairies temporaires	Milliers d'hectares	3 300	2 600	3 100	2 100	3 100	1 600
Cultures fourragères	Milliers d'hectares	17 900	10 400	15 100	4 300	3 400	4 300
Production des prairies temporaires et cultures fourragères	Milliers de tonnes (matière sèche)	38 300	27 700	35 000	18 500	27 000	14 400
Alimentation des ruminants (bovins, ovins, caprins)							
Herbe pâturée	Milliers de tonnes (matière sèche)	36 400	33 600	29 000	28 800	29 800	28 700
Fourrages	Milliers de tonnes (matière sèche)	38 600	27 800	34 800	18 500	18 500	19 800
Solde herbe et fourrages = production - consommation	Milliers de tonnes (matière sèche)	4 500	4 000	3 600	5 800	15 100	100
Solde en % de la production		6 %	6 %	5 %	11 %	24 %	0 %

- Evolution des prairies et des cultures fourragères selon les scénarios.

⁷⁹ Un objectif ambitieux mais possible. Voir « Des systèmes ovins confortés par la réforme de la PAC ». INOSYS oct. 2014.

de différentes façons, au-delà de nourrir des ruminants. Dans Afterres2050, il est utilisé pour la production conjointe d'azote et d'énergie par méthanisation, en complément d'autres substrats (fumier, cultures intermédiaires, résidus de cultures, biodéchets).

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 unique-

ment 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 bœufs, tout en conservant les fonctions agroécologiques des prairies, et sans pour autant en revenir à la traction 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.

Monogastriques (Porcs et volailles)

Le nombre de places de porcs passe de 8,5 millions actuellement, presque en totalité en intensif, à 5,6 millions en 2050, dont 60 % hors conventionnel (bio, plein air ou extensif) et 40 % de conventionnel amélioré (au lieu de 97 % actuellement). La production de viande associée passe de 2,3 à 1,5 millions de tonnes. En élevage de volaille, le nombre de places de poulets de chair passe de 141 millions à 110 millions. Le poulet standard ne représente que 10 %, le poulet certifié passe à 15 %, les autres systèmes (label, AgriBio) représentent les ¾ des places. La production de viande de volaille, qui comprend ici

l'ensemble des élevages de volaille, canard, dindes, etc., passe de 1,7 à 0,9 millions de tonnes. La production d'œufs se fait très majoritairement dans des élevages sans cages, en volières et surtout, à 70 %, sous Label ou en Bio. Le nombre de places passe de 50 à 31 millions, la production d'œufs de 940 à 540 milliers de tonnes.

Toutes ces productions couvrent la demande intérieure, comme aujourd'hui, qu'il s'agisse de la viande de porc, de la viande de volaille ou des œufs.

		2010	2030	2050	2050	2050	2050
			Afterres	Tendancier	Afterres	SAB	REP
Porcs							
Cheptel présent	Milliers	8 503	6 802	4 638	5 102	5 612	5 612
Conventionnel	Milliers	8 163	4 625	3 989	2 041	673	4 377
Hors conventionnel	Milliers	340	2 177	649	3 061	4 938	1 235
Production de viande	Milliers de tonnes (carcasse)	2 280	1 824	1 244	1 368	1 505	1 505
Consommation d'aliments	Millions de tonnes	8 665	6 947	4 735	5 222	5 772	5 681
Volailles de chair							
Cheptel présent	Milliers de poulets	141 206	125 673	141 206	110 141	110 141	110 141
Conventionnel	Milliers	105 057	53 034	84 724	11 014	7 710	27 535
Label	Milliers	36 149	72 639	56 482	99 127	102 431	82 605
Production de viande	Milliers de tonnes (carcasse)	1 700	1 329	1 639	992	959	1 153
Consommation d'aliments	Millions de tonnes	5 103	4 793	5 266	4 139	4 133	4 177
Poules pondeuses							
Cheptel présent	Milliers de poules	50 299	40 742	50 299	31 185	31 185	31 185
En cages	Milliers	34 706	15 075	25 150	1 559	624	4 678
Hors cages	Milliers	15 593	25 668	25 150	29 626	30 562	26 508
Production d'œufs	Milliers de tonnes	940	731	917	536	535	545
Production de viande	Milliers de tonnes (carcasse)	71	58	71	46	45	45
Consommation d'aliments	Milliers de tonnes	2 067	1 686	2 070	1 300	1 290	1 295

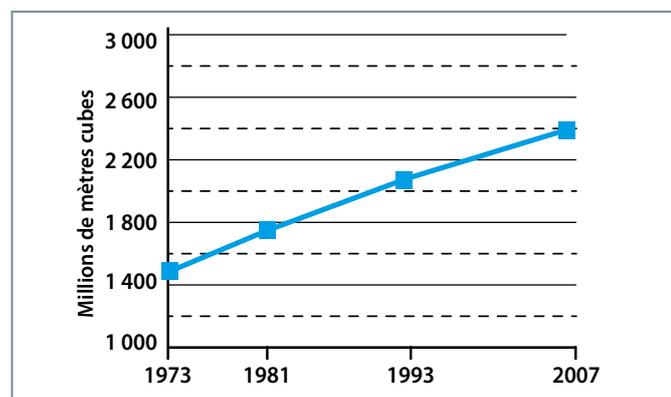
- Evolution des cheptels en volailles et porcs.

Les productions forestières

Etat des lieux et comptabilité forestière

Stock et production biologique annuelle de bois

Le stock de bois sur pied⁸⁰ est estimé à **2,4 milliards de m³** et il s'accroît de 25 millions de m³ tous les ans. La production biologique annuelle est estimée à environ 91 Mm³.



- Evolution du volume sur pied en France sur le dernier quart de siècle.

Prélèvements et utilisations actuels

La production biologique représente la quantité de bois que produit la forêt annuellement. Une partie est prélevée, le solde net est capitalisé et contribue à l'accroissement des volumes sur pied. L'accroissement net tient compte de la mortalité.

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 des circuits commerciaux classiques (bois de chauffage). D'après les données de l'IGN, les prélèvements sont de 58 Mm³ de bois total, en comptant 10 % de pertes d'exploitation. Rapporté à la production biologique annuelle totale⁸¹, le taux de prélèvement est de 43 %⁸².

Aux quantités commercialisées (38 Mm³ par an en moyenne la période 2010-2014) s'ajoutent les usages hors circuits commerciaux classiques, plus difficiles à estimer.

Mm ³	Bois fort total ⁸³	Menu bois	TOTAL
Bois d'œuvre	20		20
Bois d'industrie	12		12
Bois énergie EAB ⁸⁴	6		6
Total commercialisé	38		38
Bois énergie hors EAB	10	5	15
TOTAL	48	5	53

- Production biologique et taux de prélèvement en forêt.

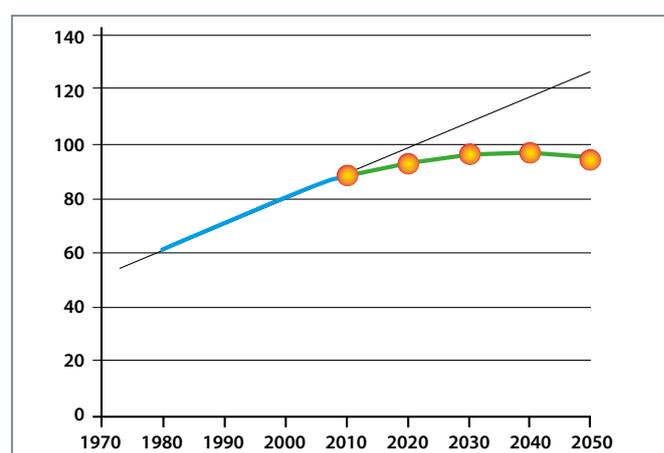
Scénarios prospectifs

Production biologique et prélèvements

Du fait de l'augmentation des surfaces forestières mais aussi de la structure de la forêt française, globalement jeune, la production biologique a augmenté significativement ces dernières décennies : 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 mal le stress hydrique, la multiplication des ravageurs, et l'augmentation des risques d'incendies et de chablis. Des phénomènes de diminution de la production biologique (voire de disparition de peuplements) sont déjà observés localement.

Il existe peu de scénarios prospectifs sur la forêt française. On peut signaler les travaux du Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux (CGAAER)⁸⁵. Son scénario « développement durable » misait sur un volume prélevé de 129 Mm³, pour une forêt de 17 millions d'hectares.



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

⁸⁰ Sauf mention contraire, les volumes de bois en forêt (stock, production, prélèvements) sont indiqués en Bois Fort Tige (BFT). Voir en annexe « Dans les arcanes comptables de la bioéconomie ». Pour passer du bois fort tige au volume de bois aérien total, il faut multiplier par 1,5 environ. De nombreuses publications omettent de préciser si l'unité de compte est les BFT ou non, il convient donc d'être vigilant en cas de comparaison.

⁸¹ Celle-ci est d'environ 134 Mm³ par an. Elle comprend l'ensemble du bois aérien total et non seulement le bois fort tige.

⁸² Il s'agit du taux de prélèvement sur la production biologique brute. L'IGN indique souvent le prélèvement rapporté à la production biologique nette (déduction faite de la mortalité), qui logiquement est plus élevé. Les tempêtes perturbent cet indicateur, qui doit être interprété dans la durée et non en valeur instantanée.

⁸³ Le bois fort total compte le bois fort tige et le bois fort branche. Voir « Les arcanes comptables de la bioéconomie ».

⁸⁴ EAB : Enquête Annuelle de Branche, réalisée par le ministère de l'agriculture et de la forêt pour ce qui concerne l'exploitation forestière. Les volumes identifiés par cette enquête ne portent que sur les entreprises d'exploitation forestière, et n'incluent donc pas les autres producteurs : auto-consommateurs, agriculteurs, etc.

⁸⁵ 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 ministères.

Les scénarios les plus récents sont ceux de l'étude IGN-FCBA de 2015 qui visent l'horizon 2035. Il n'existe aucune étude du même type à des échéances plus lointaines.

Le scénario Afterres2050 suppose que l'effort de mobilisation des petites propriétés privées se poursuit : dans l'étude IGN-FCBA, seule la moitié de ces propriétés sont mobilisées et il

Mm ³ (vol. total aérien)	2010	2030	2050
Production biologique			
Bois fort tige	88	94	93
Volume total aérien	132	141	140
Taux de prélèvement	46 %	58 %	65 %
Quantités prélevées	58	84	91

- Hypothèses de prélèvements en forêt.

Usages et prélèvements : le bois d'œuvre

Différentes études prospectives réalisées par l'IRSTEA⁸⁶ ou le FCBA⁸⁷ aboutissent à un potentiel en bois d'œuvre supplémentaire supérieur à 10 Mm³ en 2020. Nos hypothèses sur la demande en bois d'œuvre sont issus principalement du programme de recherche TERRACREA⁸⁸, mené par le LRA (Laboratoire de recherche en architecture de Toulouse), et dont l'ambition était d'estimer les débouchés potentiels pour les matériaux biosourcés dans la construction. Il est basé sur les hypothèses proches de celles du scénario négaWatt pour ce qui concerne le nombre de constructions neuves et de réhabilitations, et sur des hypothèses proches de celles du scénario Afterres2050 pour les ressources en matériaux biosourcés.

Dans ces différents scénarios, la construction bois 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 fortement l'utilisation de bois d'œuvre, y compris et surtout en feuillus.

Le scénario TERRACREA repose sur des hypothèses de diffusion des matériaux biosourcés dans le bâtiment, en s'appuyant sur des réalisations existantes : comme les scénarios Afterres2050 et négaWatt, il fixe un rythme de généralisation des meilleures techniques disponibles. Ainsi, dans la construc-

existe donc d'importantes marges de manœuvre, à condition de mettre en place les organisations nécessaires. Nous avons adopté une hypothèse de prélèvement maximal de 65 %. Appliqué à une production biologique de l'ordre de 140 Mm³ de bois total, les quantités mobilisables maximales sont de l'ordre de 91 Mm³.

Le scénario Afterres2050 reprend les valeurs du « scénario dynamique » de l'étude IGN-FCBA pour l'horizon 2030-2035, soit 84 Mm³ de prélèvements pertes comprises.

tion neuve, la part des matériaux biosourcés dans les murs passerait de 10 à 50 % d'ici 2050, dans l'isolation de 10 à 75 %, dans les menuiseries de 20 à 30 %.

La principale ressource provient du bois, de l'ordre de 26 millions de m³ de sciages dans le scénario le plus ambitieux de TERRACREA. Les produits dérivés du bois tels que ouate de cellulose, laine de bois et liège, représentent 260 000 tonnes. Les matériaux d'origine agricole – paille de céréales, chène-votte, paille de lin, coton, laine de mouton, etc.- ne dépassent pas les 150 000 tonnes par an. Les matériaux isolants sont légers et contiennent plus d'air que de matière !

Une forte augmentation de la demande en bois pour la construction peut se traduire à la fois par une forte augmentation des importations de résineux et par une diminution de l'exploitation des feuillus. D'où le choix d'hypothèses, fortes mais réalistes, de rééquilibrage de la demande en faveur des feuillus.

Afterres2050 fait le choix de ne pas faire peser le développement des matériaux biosourcés sur les importations, donc de limiter l'usage des résineux à moins de 17 Mm³. Pour les feuillus, l'hypothèse adoptée par TERRACREA est ambitieuse : l'étude IGN-FCBA fait passer les feuillus de 5 à 7 Mm³ seulement. L'hypothèse retenue dans Afterres2050 est de 13 Mm³ de grumes. Ce qui conduit à un total de 29 Mm³ de bois d'œuvre, sans importation.

Mm ³ (vol. total aérien)	Disponibilités nettes (étude IGN-FCBA)		Demande maximale (étude IGN-FCBA)		Demande maximale (étude TERRACREA)		Valeur retenue (Afterres, années 2030)
	Grumes		Grumes		Sciages	Grumes	Grumes
Bois d'œuvre feuillu	15		7		11	18	13
Bois d'œuvre résineux	17				14	23	16
Total bois d'œuvre	32				25	41	29

- Comparaison de différents scénarios de disponibilité et de demande, et choix retenu.

⁸⁶ Biomasse forestière disponible pour de nouveaux débouchés énergétiques et industriels, IRSTEA (ex-CE-MAGREF), 2009.

⁸⁷ 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.

⁸⁸ Synthèse du rapport de recherche TERRACREA - Matériaux de constructions biosourcés, ressources agricoles et forestières. Etat des lieux, prospectives et propositions à l'horizon 2030-2050. P. Besse et al., Sept. 2014.

Usages et prélèvements : bois d'industrie / bois énergie

La ressource disponible pour les usages bois d'industrie / bois énergie, déduction faite des 29 Mm³ utilisés en bois d'œuvre et des pertes d'exploitation en forêt, est donc de 52 Mm³.

Le bois énergie et le bois d'industrie appartiennent en partie au même « compartiment » de l'arbre, raison pour laquelle les perspectives statistiques concernant la forêt parlent du « BIBE potentiel » pour différencier cette ressource du « BO potentiel ». La ressource disponible qui n'est pas utilisée sous forme de bois d'œuvre peut être mobilisée comme bois d'industrie ou bois énergie. Afterres2050 se donne pour objectif d'augmenter les usages de bois d'industrie de 50 %. 12 millions de m³ sont utilisés aujourd'hui principalement pour la fabrication de pâte à papier. A l'avenir, les matériaux dérivés du bois remplaceront les matières issues de la pétrochimie. Déduction faite des usages bois d'œuvre et bois d'industrie, il resterait 35 Mm³ pour le 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 la majorité 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. Les quantités prélevées augmentent ensuite, pour tous les usages mais principalement pour l'énergie, elles atteignent un plafond vers 2040, puis se stabilisent.

Mm ³ (vol. total aérien)	2010	2030	2050
Quantités prélevées	58	84	91
Pertes d'exploitation	5	8	9
Bois d'œuvre	22	29	29
Autre bois matériau	12	16	17
Bois énergie	19	31	35

- Hypothèses d'utilisation du bois.

Valorisations non alimentaires de la biomasse

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. 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 : c'est la base du scénario négaWatt, auquel est étroitement associé le scénario Afterres2050. La cohérence porte sur l'estimation de nos besoins en énergie et autres matières carbonées (bois de construction, papier, fibres textiles, molécules pour la chimie et la pharmacie), sur les capacités de production de biomasse renouvelable, sur la consommation d'énergie de l'agriculture et de l'agroalimentaire.

La biomasse constitue la principale ressource énergétique dans la « France négaWatt » de 2050 avec près de 380 TWh en énergie primaire. 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 le nucléaire sur deux décennies.

Les besoins alimentaires constituent un point d'entrée de notre travail de modélisation. Le principe de sobriété véhicule des valeurs positives : il s'agit de consommer avec modération, économie, mais de manière épicurienne. Il s'oppose ainsi aux actes d'ébriété, glotonnerie, immodération, gaspillage, mortification, ascèse, austérité...

Produire des bioénergies avec la biomasse agricole et forestière

La production d'énergie issue de la biomasse en France métropolitaine représente aujourd'hui près de 193 TWh PC en énergie primaire : elle est issue du bois (forêt, haies et espaces verts) et des produits dérivés du bois (connexes de scierie, bois

de rebut, liqueurs noires de papeterie), d'agrocarburants, de déchets urbains (fraction d'origine renouvelable comme les déchets de cuisine et les papiers-cartons), de biogaz, de résidus agricoles.

		1995	2000	2005	2010	2014
Ressources						
Ethanol	TWh PCs	0	1	1	5	5
Biodiesel	TWh PCs	2	4	6	26	33
Biogaz	TWh PCs	1	1	2	4	6
Bois énergie	TWh PCs	125	123	107	111	129
Autres biomasses solides	TWh PCs	1	2	3	6	5
Déchets urbains	TWh PCs	8	10	12	15	15
TOTAL	TWh PCs	137	140	132	168	193
Usages						
Production d'électricité et cogénération		5	7	10	19	18
Carburants		2	4	8	31	38
Usages thermiques		130	129	115	117	137
TOTAL	TWh PCs	137	140	132	168	193

- Productions d'énergie issue de la biomasse.

Le bois

Bois énergie issu des espaces boisés

La forêt française fournit 19 millions de m³ de bois énergie aujourd'hui. Elle en fournirait jusqu'à 35 millions dans les années 2040. Soit un total de 95 TWh en valeur PCs.

Le bois provenant des arbres hors forêt provient des haies, arbres urbains, espaces verts, parcs et jardins, vignes et vergers, de l'agroforesterie, des infrastructures agroécologiques. Tous les éléments arborés sont fortement développés dans le scénario Afterres2050, et chaque hectare hors forêt fournirait en moyenne près de 0,5 m³ de bois par an, à l'horizon 2050, dont près de 70 % exploitable comme bois énergie, et un tiers comme bois matériau.

Produits connexes de scierie, déchets de bois, autres produits dérivés du bois

Les « connexes de scierie » (dosses, délignures, écorces, sciures) sont aujourd'hui utilisés en partie pour produire de la pâte à papier, en partie pour l'énergie. Leur volume est en augmenta-

tion du fait de l'accroissement des sciages. Les « déchets issus du bois » englobent à la fois des bois de rebut (broyats de palettes, emballages), des bois issus de la déconstruction des bâtiments, ainsi que des déchets issus des produits dérivés du bois : papiers cartons non recyclables, liqueurs noires de papeteries, boues de papeteries...

L'ensemble de ces matières dérive de l'utilisation de bois d'œuvre et de bois d'industrie, matériaux destinés à devenir des déchets après usage, à plus ou moins long terme.

Aujourd'hui, une grande partie de la ressource en bois énergie provient de ces étapes de première ou seconde transformation du bois.

Le biogaz

Le biogaz voit sa production multipliée et atteindre 124 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.

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. Elle offre également une diversification du revenu des agriculteurs.

Biodéchets, déjections d'élevage, résidus de culture

La principale production de biogaz actuellement provient des déchets des ménages et des entreprises : biodéchets, boues de station d'épuration, effluents industriels, déchets agro-alimentaires... On assiste dans Afterres2050 à un double phénomène : une part croissante de ces déchets sont méthanisés, mais la quantité de déchets diminue grâce à la réduction des pertes et gaspillages. Les biodéchets fourniraient 9 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 29 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 %. Afterres2050 prévoit de mobiliser 30 % 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 un peu 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 30 % 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 30 TWh.

Ressources fourragères et cultures intermédiaires

Afterres2050 propose d'utiliser les ressources fourragères non consommées par les ruminants. Il s'agit d'une part des cultures de légumineuses en région de grandes cultures destinées à fournir de l'azote symbiotique dans ces agrosystèmes, et d'autre part des surplus d'herbe des systèmes herbagers. Ces productions ne deviendraient significatives qu'à partir des années 2030 et resteraient limitées à moins de 15 TWh PC. Ce qui représenterait un volume global de 6 millions de tonnes de matières sèches d'herbe et fourrage, soit environ 10 % de la production totale d'herbe et fourrages.

Les cultures intermédiaires - ou CIMSE⁸⁹ - sont généralisées sur la quasi totalité des terres arables à l'horizon 2050. Elles peuvent être laissées sur place pour assurer une fonction d'engrais vert, ou être récoltées, si le rendement est suffisant pour justifier les frais de récolte, ce qui dépend des aléas climatiques, de la nature des sols et du type de CIMSE.

Dans ce second cas, les CIMSE récoltées sont utilisables en alimentation animale et entrent dans le calcul du bilan fourrager ; le surplus peut être utilisé en méthanisation, avec retour au sol du digestat pour conserver la fonction engrais vert ; ou encore exporté pour un usage comme matériau. Il faut souligner que

	Non récoltées	Récoltées et méthanisées avec retour au sol	Récoltées et exportées
Alimentation animale			X
Engrais vert	X	X	
Matériaux			X

- Utilisations possibles des cultures intermédiaires.

les CIMSE présentent une valeur fourragère, mais n'atteignent jamais le stade de maturité nécessaire à une alimentation humaine : s'il s'agit de céréales par exemple, elles sont récoltées en vert et contiennent peu d'amidon. Elles peuvent être utilisées comme aliment pour le bétail.

L'estimation de la quantité de cultures intermédiaires récoltables prend comme hypothèse que les $\frac{3}{4}$ des CIMSE sont des cultures d'été et $\frac{1}{4}$ des cultures d'hiver⁹⁰. On considère que le rendement le plus élevé est de 7 tonnes de matières sèches en moyenne sur le meilleur tiers des terres cultivées en CIMSE d'été (1,5 Mha) une année sur 5, et le rendement le plus faible de 1 tonne de matière sèches en moyenne sur le tiers le plus pauvre des terres cultivées en CIMSE d'hiver (4,5 Mha) une année sur 5. Le tableau ci-dessous détaille les hypothèses adoptées. On considère que le seuil de récolte est de 4,5 t MS/ha. Ces hypothèses d'aléas de rendement sont bien supérieures à celles des cultures principales, compte tenu du fait que les CIMSE sont semées en fin de printemps ou en été, avec ici l'hypothèse qu'elles ne sont pas irriguées, ni traitées, ni fertilisées.

Leur potentiel de récolte est estimé à 18 millions de tonnes de matières sèches, soit le tiers de leur production totale, sur 17 millions d'hectares de terres arables. Le potentiel correspondant est estimé à 43 TWh PC.

Le tableau montre que statistiquement on ne produit pas de CIMSE récoltables 2 années sur 5, et que les CIMSE d'été ne sont presque jamais récoltables sur 2/3 des terres. Pour une alimentation régulière des méthaniseurs, il est nécessaire de disposer de stocks sur 2 années, sous forme de foin ou d'ensilage. Si le seuil de récolte passe à 4 tMS/ha, la quantité récoltable est de 27 Mt MS. Les hypothèses de récolte restent donc prudentes.

Qualité des terres	CIMSE d'été : $\frac{3}{4}$ de la COP			CIMSE d'hiver : $\frac{1}{4}$ de la COP			Total, Mt MS
	Bonne	Moyenne	Médiocre	Bonne	Moyenne	Médiocre	
Proportion	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	
Surfaces, Mha	4,3	4,3	4,3	1,3	1,3	1,3	
Rendement, tMS/ha							
Meilleure année sur 5	5	4	3	7	6	5	77
2 nd e quintile	4,6	3,6	2,6	6,2	5,2	4,2	68
3 ^{ème} quintile	4,0	3,0	2,0	5,0	4,0	3,0	55
4 ^{ème} quintile	3,4	2,4	1,4	3,8	2,8	1,8	43

- Rendements en cultures intermédiaires selon la qualité des terres, la nature des cultures et les aléas climatiques.

⁸⁹ Cultures Intermédiaires MultiServices Environnementaux ; terminologie préférée à celle de CIVE ou Cultures Intermédiaires à Vocation Énergétique.

⁹⁰ Les CIMSE d'été sont récoltées avant l'implantation d'une culture d'hiver. Par exemple un sorgho ou un mélange sarrasin tournesol, qui résistent bien au stress hydrique. Les CIMSE d'hiver sont récoltées en fin de

printemps, il s'agit de cultures peu gélives avec reprise de végétation au printemps. On peut utiliser la plupart des graminées, en mélange avec des légumineuses. Leur rendement est plus élevé car elles bénéficient de deux périodes de pousse. Elles précèdent des cultures de printemps : maïs, tournesol, betterave, céréales de printemps.

Biocarburants

Les biocarburants produits aujourd'hui en France représentent 2,9 millions de tonnes équivalent pétrole, à 86 % sous forme de biodiesel et 14 % d'éthanol. Les ressources utilisées représentent respectivement 2,5 millions de tonnes d'huile et 1,3 million de tonnes de céréales. Leur production diminue dans Afterres2050 pour atteindre la moitié de leur niveau actuel de production, pour des raisons de concurrence avec l'alimentation humaine.

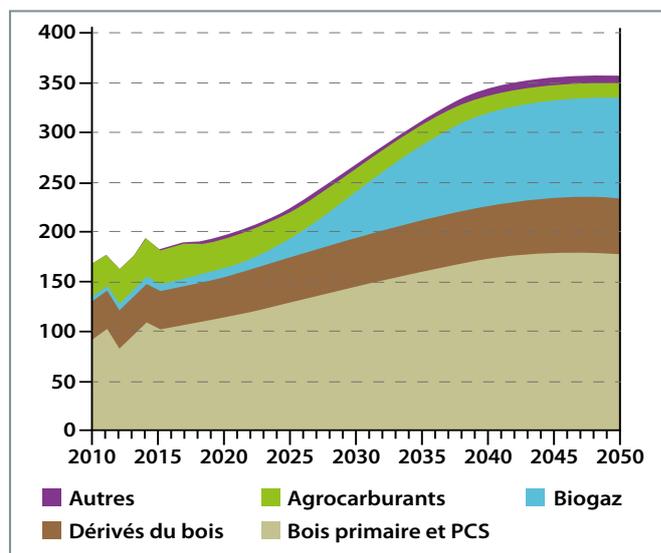
Production et utilisation des bioénergies

Le bois bûche utilisé pour le chauffage des logements est aujourd'hui le principal usage des bioénergies. Il diminue progressivement dans le scénario négaWatt, en même temps que les besoins de chauffage des bâtiments, 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 méthanation.

La biomasse fournit ainsi deux voies de substitution du gaz naturel par 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.

Les modes d'obtention des carburants à partir de matières végétales seront sensiblement différents d'aujourd'hui. 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.



• Evolution de la production de bioénergies, en TWh PC.

RESSOURCES BRUTES (TWh PC)	2010	2030	2050	2050	2050	2050
		Afterres	Tendancier	Afterres	SAB	REP
Bois - ressources primaires et produits connexes de scierie						
Bois énergie issu de la forêt	53	80	89	95	95	95
Produits connexes de scierie énergie	15	22	26	26	26	26
Bois énergie issu de l'agroforesterie et des arbres hors forêt	10	24	6	36	43	40
Autres biomasses solides - bois de rebut, déchets et produits dérivés du bois, résidus de culture						
Déchets de bois (2 ^{de} transformation, bois de rebut, emballages, déconstruction)	37	47	48	53	57	55
Autres produits dérivés du bois (boues de papeterie, liqueurs noires...)	16	18	18	18	18	18
Résidus de culture usage combustion	0	3	7	5	0	6
Biogaz						
Déchets alimentaires	3	5	9	9	9	9
Déjections d'élevage méthanisées	1	14	13	29	27	33
Résidus de culture méthanisés	0	17	5	29	15	33
Cultures intermédiaires méthanisées	0	13	3	44	27	28
Herbe et cultures fourragères méthanisées	0	3	1	13	22	-2
Autres biogaz	0	0	0	0	0	0
Biomasse liquide						
Ethanol	5	3	5	2	1	2
Biodiesel	26	20	30	12	10	13
Biocarburants 2 ^{de} génération	0	0	0	0	0	0
TOTAL	167	269	260	371	350	357

• Les biomasses énergie d'ici à 2050.

Atterres 2015

**Evaluer
les impacts**

Produire autant avec 2 à 3 fois moins d'intrants

Un cycle de l'azote profondément modifié

La consommation d'azote de synthèse passe de 2,3 millions de tonnes à 1 million de tonnes en 2050. Le bilan d'azote (emplois/ressources) a été établi à différents niveaux : au niveau des sols agricoles (cultures et prairies), des élevages, de l'alimentation humaine, et au niveau global.

La quantité totale des « apports au sol » est assez proche des apports actuels, soit 6 millions de tonnes par an, mais la structure du bilan est très différente.

La valeur protéique des productions végétales, représentée par les « exportations⁹¹ » par les fourrages et les cultures, 5 MtN, est supérieure à celle d'aujourd'hui (4,3 MtN).

Les pertes sont inférieures, avec un gain de 600 ktN sur la volatilisation et le lessivage. Le solde au sol, c'est-à-dire la différence entre les entrées totales et les sorties, diminue également de près de 400 ktN. Les flux de recirculation sont globalement iden-

tiques (3,5 MtN). Les redépôts diminuent car la volatilisation est mieux maîtrisée, et le retour s'effectue majoritairement après passage par la case méthanisation d'une part (1,3 MtN) et par le maintien au champ de 2/3 des cultures intermédiaires (1,1 MtN). C'est ce dernier poste qui explique l'augmentation des « exportations », ce flux est intégralement restitué et compte à la fois en débit et crédit, dans les « exportations » et les retours au sol. Les retours via la pâture diminuent moins que le cheptel, car le temps de pâture augmente. La diminution des retours d'azote via les déjections et les résidus de culture s'explique par leur passage par la méthanisation.

Les besoins primaires diminuent légèrement, passant de 2,6 à 2,4 MtN. En effet, les exportations augmentent, mais les pertes diminuent, d'où un moindre besoin de source primaire d'azote, traduisant une meilleure efficacité globale du système.

Bilan azote « sols agricoles » 2010	2010		2050	
	Entrées	Sorties	Entrées	Sorties
Fourniture primaire d'azote				
Engrais minéraux	2 260		850	
Fixation symbiotique	380		1 520	
Exportations d'azote				
Exportations par la pâture et les fourrages		1 950		1 550
Exportations par les cultures		2 310		3 430
Flux de recyclage et de recirculation				
Redéposition atmosphérique	760		230	
Retour déjections à la pâture	720		560	
Epannage des effluents d'élevage bruts	1 170		60	
Résidus de culture laissés au champ	650		290	
Engrais verts cultures intermédiaires, laissés au champs	60		1 050	
Herbe non consommée	120		0	
Retour via les digestats (déjections, herbe de prairie, résidus de culture, cultures intercalaires)	0		1 340	
Pertes diffuses				
Pertes par volatilisation et lessivage		860		290
Solde au sol		1 000		630
TOTAL	6 120	6 120	5 900	5 900

- Bilan azote « sols agricoles », comparaison 2010-2050.

La fixation symbiotique est capable de fournir 1,5 MtN grâce aux cultures de protéagineux pour l'alimentation humaine ou animale (soja, pois, lentilles, haricots, fèves, féveroles) et de légumineuses fourragères (luzerne, trèfle), et à la présence de légumineuses dans les cultures intermédiaires ou associées, qui à elles seules contribuent à la moitié de la fixation symbiotique. Les apports en engrais minéraux sont calculés par différence entre

les besoins primaires d'azote et les apports par fixation symbiotique. Ils sont divisés par 3 par rapport à aujourd'hui, à moins d'un million de tonnes, ce qui correspond d'ailleurs à la production de l'industrie française des engrais azotés. Industrie qui serait intégralement biosourcée puisque le méthane nécessaire (ou l'hydrogène) serait d'origine renouvelable.

⁹¹ Exportation entendu ici au sens agronomique, c'est-à-dire ce qui sort des champs.

	2010		2050	
	Surface (kha)	Azote symbiotique (kt)	Surface (kha)	Azote symbiotique (kt)
Soja	40	6	180	17
Pois, haricots, lentilles, protéagineux pour consommation humaine	160	19	1 400	150
Féverolles, lupin, protéagineux pour consommation animale	89	14	620	74
Luzerne, trèfle, et autres prairies légumineuses	300	76	1 100	270
Cultures intermédiaires sur autres cultures fourragères (autres prairies temporaires, maïs ensilage...)	4 400	100	1 200	59
Autres surfaces de céréales et oléoprotéagineux (cultures intermédiaires ou associées)	12 000	23	11 000	760
Prairies naturelles	9 700	130	8 900	110
Vergers, maraichage, vignes, jardin, cultures industrielles ou pérennes (cultures intermédiaires)	1 900	3	2 100	81
TOTAL	28 600	370	26 500	1 520

- Tableau : Principales sources d'azote symbiotique.

Moins d'énergie, plus de renouvelables

La consommation d'énergie globale de la production agricole est réduite de 40 %, 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). Les sources d'énergie sont renouvelables à 90 % selon le scénario négaWatt, y compris pour les combustibles et les carburants (bioGNV : Gaz naturel véhi-

cule issu du biogaz). Les énergies utilisées dans les procédés de fabrication des intrants sont également d'origine renouvelable : la synthèse des engrais azotés est effectuée à partir de biométhane ou d'hydrogène d'origine renouvelable.

On peut noter que la production d'énergies renouvelables issues de l'agriculture s'élèvera à environ 165 TWh, soit deux fois la consommation du secteur agricole.

Consommation d'énergie dans l'agriculture, TWh	2010	2050			
		Tendanciel	Afterres	SAB	REP
Energie directe	63	48	44	45	45
Carburants	33	27	23	25	24
Electricité	11	9	6	6	6
Combustibles (gaz, fioul)	18	10	6	6	6
Bois	-	2	9	9	9
Energie indirecte	54	41	27	19	35
Azote	34	23	10	3	17
Autres intrants	10	9	7	7	8
Matériel	10	9	9	9	9
TOTAL	116	89	71	54	80

- Consommation d'énergie dans l'agriculture, TWh, 2010-2050.

Air pur, eaux propres

Haute ou basse, l'atmosphère respire mieux

Des émissions agricoles en forte baisse

Les émissions de gaz à effet de serre ne sont pas les seuls polluants atmosphériques à diminuer considérablement. L'agriculture est un important contributeur aux émissions d'ammoniac et de particules primaires ou secondaires⁹². Les pesticides sont également présents dans l'air. Les principales pratiques recommandées pour diminuer ces émissions sont toutes intégrées dans la démarche Afterres2050. La réduction du nombre d'animaux, l'augmentation du temps de pâture et de la proportion des systèmes sur paille, diminuent fortement les émissions d'ammoniac, dont les élevages sont responsables aux trois

quarts. S'y ajoutent une amélioration des techniques et pratiques d'épandage (précision des prévisions météo, optimisation des épandages, perfectionnement des équipements), et un meilleur équilibre des apports azotés. Le risque de volatilisation de l'azote des digestats de méthanisation est contrebalancé par la diminution de l'épandage direct des déjections d'élevage et par la généralisation de la couverture des fosses de stockage des digestats. La généralisation des techniques cultu-

⁹² Les émissions agricoles de particules dans l'air. Etat des lieux et leviers d'action. ADEME, Mars 2012. Les particules secondaires sont issues d'une réaction chimique, par exemple entre oxydes d'azote et ammoniac.

	Particules fines, PM 2,5	Particules fines PM10	Ensemble des particules	Ammoniac
Part de l'agriculture dans les émissions nationales	10 %	19 %	48 %	97 %
Total des émissions agricoles en kt				
Cultures (travail du sol, récolte, brûlage des résidus, engrais)	3,4	26,5	417	107
Elevage	4,9	20,9	46,5	364
Engins (combustion carburants, freins et pneumatiques)	16	23	41	

- Emissions atmosphériques d'origine agricole.

rales simplifiées, du non labour, et des couverts permanents, sont d'autres facteurs majeurs de réduction des particules atmosphériques. Les sols sont moins travaillés, moins soumis aux phénomènes d'érosion, le passage des engins est moins fréquent. Seule l'étape de récolte reste pour le moment sans alternative. Il est difficile de quantifier ces réductions : un facteur 3 pour l'ammoniac, et probablement, en ordre de grandeur, un facteur 2 à 3 pour les autres émissions.

Concernant les pesticides, la pression phytosanitaire⁹³ est divisée par trois.

Des combustibles et carburants sans particules

Les bioénergies produites par l'agriculture et la forêt contribuent également à diminuer la pollution de l'air dans les autres secteurs. Si le bois énergie utilisé traditionnellement dans le chauffage domestique est un important émetteur de particules fines, dans le scénario négaWatt, ces usages diminuent au profit de pratiques nettement plus efficaces. L'amélioration de l'isolation des bâtiments et des rendements des appareils de chauffage diminue fortement les besoins de chauffage, même si le nombre d'utilisateurs de bois énergie augmente, la consommation totale diminue. Les usages qui se développent sont les chaufferies collectives ou industrielles, avec des niveaux d'émission 10 fois

inférieures à ceux des appareils individuels actuels. Dans les transports, les actions de sobriété et d'efficacité permettent également de réduire la demande en carburants. Le remplacement des carburants liquides par du méthane pour la quasi totalité des applications contribue à réduire également très fortement la pollution de ce secteur. Le méthane étant composé d'un seul

		Ammoniac	Particules
Culture	Travail du sol simplifié	?	+
Culture	Couverture du sol en interculture	?	++
Bâtiment	Augmentation du temps de pâturage	+	++
Stockage	Couverture des fosses	++	
Epannage	Pendillards, injection	+	?

- Principales recommandations pour réduire les émissions atmosphériques.

atome de carbone, difficile en effet de générer des polluants en comportant plusieurs ! C'est un atout intrinsèque du méthane, qui rend ensuite les techniques de réduction des NO_x et du CO nettement plus faciles qu'avec des carburants liquides à longues chaînes carbonées. Le GNV émet 30 à 70 % de NO_x et 95 % de particules fines en moins que le gazole.

L'eau

Vers la reconquête de nos ressources en eau

Nous n'avons pas atteint en 2015, un *bon état écologique et/ou 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 ressources⁹⁴ avant tout traitement de dépollution.

Pour exemples :

- 400 captages d'eau potable sont abandonnés chaque année en France ;
- 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)⁹⁵.

- La France a été condamnée en février 2012 par la Cour européenne de Justice pour son incapacité à lutter contre la pollution par les nitrates⁹⁶, 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 tonnes⁹⁷. 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) ;
- 40 % des apports d'engrais azotés de synthèse.

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 2018⁹⁸ (Ecophyto 2018) sachant que

⁹³ La pression en produits phytosanitaires est mesurée par le nombre de doses uniques (NODU). L'indicateur NODU, utilisé dans le cadre du plan Ecophyto est la somme de ces quantités « normalisées » pour l'ensemble des substances actives vendues. Notre calcul du NODU comptabilise également l'enrobage des semences.

⁹⁴ Site citoyen d'information et de partage des données brutes sur la qualité de l'eau <http://eau-evolution.fr>

⁹⁵ « Coût des principales pollutions agricoles de l'eau », CGDD, Etudes & Documents n°52, septembre 2011.

⁹⁶ 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.

⁹⁷ Solagro/Pöyry Environnement 2011.

⁹⁸ Cependant, on constate que l'indicateur de suivi, le nombre unitaire de dose (NODU) a augmenté de 2,4 % entre 2008 et 2011.

la directive européenne « pesticides » exigeait la généralisation de la lutte intégrée au 1^{er} janvier 2014. La diminution du surplus azoté au niveau national (-40 %), la division par 3 des émissions d'ammoniac (donc du risque de volatilisation puis de redéposition associé), et la division par 3 de la consommation de pesticides, sont autant de facteurs qui contribuent à l'atteinte de ces différents objectifs dans Afterres2050.

La modification des pratiques d'élevage contribue également à diminuer considérablement la consommation de produits antibiotiques, dont une partie se retrouve également dans les eaux de surface.

L'irrigation estivale limitée

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, 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	2050	2050	2050
		Afterres	Tendanciel	Afterres	SAB	REP
Céréales, oléoprotéagineux (hors maïs)	-	300	200	700	600	1000
Maïs	2000	900	2000	400	300	500
Prairies, cultures fourragères	100	100	600	100	100	100
Fruits et légumes	-	-	100	100	100	100
Autres	600	1000	800	1400	1100	1100
TOTAL	2700	2300	3700	2700	2200	2800
Dont consommation en été :	2000	900	2000	400	300	500

- Consommation d'eau, Mm³, 2010-2050.

L'équation climat & carbone

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

La France s'est engagée à réduire de 20 % d'ici à 2020 ses émissions de gaz à effet de serre⁹⁹ et de 75 % d'ici à 2050. Objectif que l'on désigne comme « l'objectif facteur 4 ». Le facteur 4 en 2050 signifie qu'à cet horizon, chaque français 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 affirme la nécessité d'atteindre des émissions « négatives » (qui correspondent à des prélèvements de CO₂ de l'atmosphère) dès les années 2070. 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

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 et amendements sur les sols agricoles, lessivage et volatilisation NH ₃	1		32	32
Fermentations entériques		34		34
Effluents d'élevage		8	3	12
Consommation d'énergie	11			9
Emissions indirectes	16	0	5	21
Fabrication engrais azotés	9		5	14
Production d'énergie	1			1
Autres intrants ¹⁰⁰	6			6
TOTAL	25	42	40	108

- Les émissions de gaz à effet de serre par les activités agricoles (format ClimAgri^{® 101}) - 2010.

⁹⁹ Conformément au « paquet énergie/climat » de l'Union Européenne : 4 textes, et 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 la consommation finale 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 Etat par rapport à 2005. (-20 % pour la France). Les lois Grenelle et la Loi sur la Transition Énergétique pour la Croissance Verte de 2015 transcrivent ces lois européennes dans le droit national.

¹⁰⁰ Chaux et dolomie, autres engrais, produits phytosanitaires, « énergie grise » des bâtiments et engins agricoles.
¹⁰¹ Voir « Dans les arcanes comptables de la bioéconomie ».

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 bâtiment¹⁰². L'agriculture émet 86

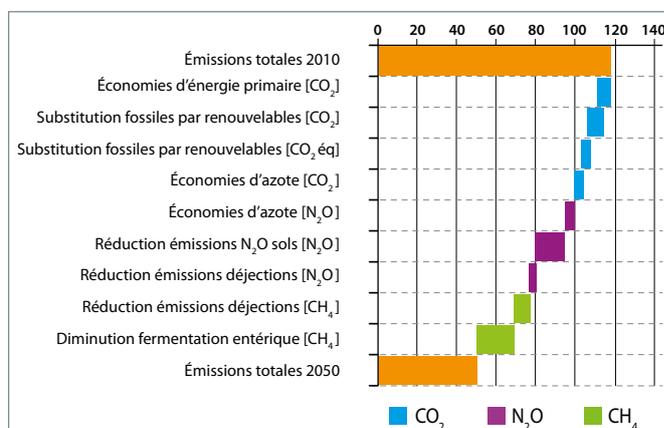
MteqCO₂, et 108 si l'on inclut les émissions indirectes liées à la fabrication des engrais azotés, des produits phytosanitaires, les aliments importés pour le bétail. Elle est responsable de 80 % des émissions de méthane et de protoxyde d'azote.

Division par 2 de notre empreinte climatique

Une forte réduction des émissions sur le territoire national

Dans Afterres2050, les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture sont divisées par 2 par rapport à aujourd'hui. 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 N₂O¹⁰³.

La forte diminution des émissions directes de CO₂ est due pour 1/3 à une moindre consommation d'énergie, et pour 2/3 à la substitution d'énergies fossiles par des énergies renouvelables.



• Réduction des émissions de GES par poste en MteqCO₂.

M t éq. CO ₂	CO ₂	CH ₄ éq. CO ₂	N ₂ O éq. CO ₂	TOTAL
Emissions directes	2,9	25,3	17,3	45,5
Apports d'azote et amendements ¹⁰⁴ sur les sols agricoles, lessivage et volatilisation NH ₃	1,2		16,0	17,2
Fermentations entériques		24,9		24,9
Effluents d'élevage		0,4	1,3	1,7
Consommation d'énergie	1,7			1,7
Emissions indirectes	4,7	0	0,4	2,7
Fabrication engrais azotés	2,3		0,4	2,7
Production d'énergie	0,5			0,5
Autres intrants ¹⁰⁵	2,4			2,4
TOTAL	7,6	25,3	17,7	50,1
Taux de réduction / 2010	69 %	52 %	55 %	54 %

• Émissions des gaz à effet de serre – format ClimAgri® – Afterres2050.

Une empreinte carbone qui tient compte des exportations et importations

Cette réduction des émissions de GES ne constitue pas un simple transfert puisque le solde GES reste positif en 2050, L'empreinte carbone¹⁰⁶ est également divisée par 2,4 par rapport à aujourd'hui. Au contraire du scénario tendanciel, où le solde

devient négatif et où l'empreinte diminue peu. Les variantes REP et SAB ne sont pas significativement différentes du scénario Afterres2050, avec des empreintes également proches de 50 MteqCO₂.

M t éq. CO ₂	CO ₂	CH ₄ éq. CO ₂	N ₂ O éq. CO ₂	Total émissions	Export	Import	Solde = exp. - Impor.	Empreinte = émissions - solde
Situation actuelle	24,7	52,5	39,5	116,7	+ 29,3	21,4	+ 7,9	108,8
Tendanciel	17,8	42,2	28,8	88,8	+ 14,7	29,0	- 14,2	103,1
Afterres	7,5	25,3	17,8	50,6	+ 14,1	9,4	+ 4,6	45,9
REP	9,2	26,0	14,7	49,9	+ 12,5	10,4	+ 2,1	47,7
SAB	9,2	25,9	21,0	56,1	+ 14,7	11,7	+ 3,1	53,0

• Emissions de gaz à effet de serre selon les scénarios.

¹⁰² « Les ménages, acteurs des émissions de gaz à effet de serre ». IFEN, numéro 115, Nov. Déc. 2006.

¹⁰³ La fabrication des engrais azotés (hors urée) génère des émissions de N₂O, qui pourraient être réduites très rapidement de 75 %.

¹⁰⁴ Les matières carbonatées comme la chaux et la dolomie émettent du gaz carbonique.

¹⁰⁵ Fabrication des engrais et amendements autres que l'azote, des produits phytosanitaires, émissions liées à la construction des bâtiments et la fabrication des engins agricoles.

¹⁰⁶ Voir « Dans les arcanes comptables de la bioéconomie ».

Des puits de carbone encore importants

Le principal effet puits de carbone est dû à la poursuite de l'augmentation du stock de biomasse en forêt. La principale différence entre les scénarios porte sur le taux d'exploitation de la forêt. Le scénario « sylviculture constante » de l'étude IGN-FCBA de 2015 indique un effet puits de carbone pour la forêt passant de 70 MtCO₂ par an aujourd'hui à 86 MtCO₂ par an pour la période 2031-2035, contre 62 MtCO₂ pour le scénario de « gestion dynamique progressif ». L'effet puits de carbone se poursuit donc, il augmente significativement dans le scénario sylviculture constante et diminue légèrement dans le scénario dynamique.

In fine, arbitrer les flux d'énergie

« L'hexalemne¹⁰⁷ » des terres et des bioressources

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

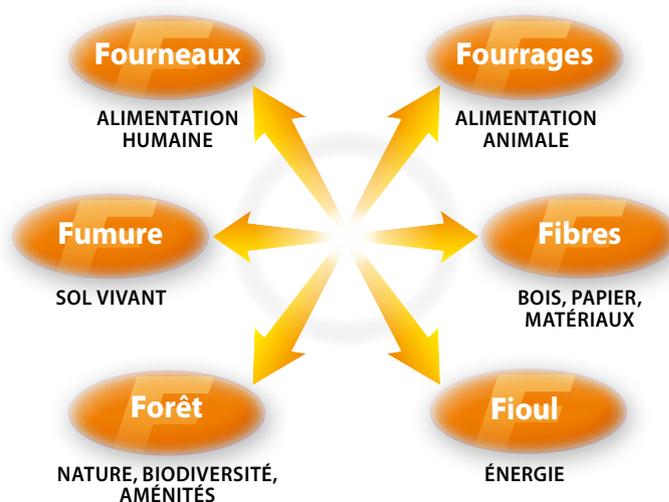
- « Fumure », qui symbolise les besoins de carbone stable, d'humus et de matière organique fraîche pour des sols riches et vivants ;
- « Fibras », et d'une manière générale tous les usages matières de la biomasse ;
- « Fioul », pour la production d'énergie ;
- « Forêt », dans son sens étymologique d'espace 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).

L'indicateur « flux d'énergie » donne une vision globale des arbitrages

Les scénarios étudiés peuvent se comparer en identifiant les flux énergétiques ou les flux de carbone, ce qui revient à peu près au même. Cette approche consiste à évaluer les destinations énergétiques finales des différentes matières, issues directement ou indirectement de la production primaire, c'est-à-dire la quantité d'énergie fixée par photosynthèse dans la biomasse agricole. On distingue par exemple l'ensemble des flux laissés au champ - résidus de culture, herbe et cultures intermédiaires non récoltées, déjections à la pâture - ou restitués - fumier et lisier, digestats. Ce flux est celui qui nourrit les organismes vivants du sol, et en conditionne donc l'activité biologique.

Le flux « alimentation » est celui qui arrive dans nos assiettes. Le flux « alimentation » est ici considéré comme un flux final, en réalité il serait nécessaire de tenir compte du métabolisme des humains. Les flux exploitables, déduction faite des pertes par métabolisme (boues de station d'épuration) sont faibles com-

parés au total. Les circuits sont directs s'il s'agit des végétaux, aux pertes et transformations près, mais ils sont beaucoup plus complexes s'il s'agit d'aliments animaux. La quantité d'énergie de la biomasse végétale primaire ayant servi à nourrir les animaux a été transformée en partie en viande, mais aussi perdue dans le métabolisme animal (chaleur et mouvement), et dans les déjections d'élevage. En valeur énergétique et au niveau national, les productions animales comestibles représentent environ 10 % de la valeur énergétique de leur alimentation, les pertes par métabolisme la moitié, et les déjections le tiers. On ajoute ici les pertes de masse donc d'énergie qui se produisent pendant le stockage des déjections.



- Afterres2050 et les 6 « F ».

Le flux « exportations » représente la quantité de denrées agricoles exportées, destinées à l'alimentation animale ou humaine à l'étranger.

Le flux « énergie et matériaux » comprend l'énergie contenue dans le biogaz (et non dans le digestat, qui est compté comme un flux retournant au sol), ainsi que la paille utilisée comme matériau.

PJ/an	Actuel	Tendanciel	Afterres	SAB	REP
Production primaire végétale	4 400	4 200	4 400	4 200	4 300
alimentation	450	500	450	450	440
exportations	580	500	440	270	610
énergie + matériau	40	160	790	680	780
perte métabolisme animal + pertes déjections	1 270	1 030	690	700	700
sol	2 090	1 980	2 010	2 120	1 790

- Destination des flux d'énergie issue de la production végétale primaire, en PJ¹⁰⁸.

¹⁰⁷ Hexalemne est un néologisme formé à partir de trilemne, lui-même dérivé de dilemme.

¹⁰⁸ Le PétaJoule (PJ) vaut 10¹⁵ Joules (un milliard de milliards).

Moins de pertes, plus d'énergie et de matériaux

Dans le scénario Afterres2050, la production primaire est de 4 400 PJ. La quantité totale d'énergie laissée au sol ou restituée est de 2 000 PJ, soit la moitié de la production primaire. L'alimentation humaine représente 450 PJ, soit 11 % de la production primaire, et les exportations presque autant avec 440 PJ. Le flux énergie et matériaux est multiplié par 20 et s'élève à 790 PJ. Les pertes par métabolisme des animaux d'élevage sont divisées par 2 et descendent à 690 PJ¹⁰⁹.

In fine, le scénario Afterres2050 par rapport à la situation actuelle, ainsi que par rapport au scénario tendanciel mais dans une moindre mesure, revient à un transfert important des flux de carbone en diminuant les pertes par métabolisme animal au profit de la production d'énergie et de matériaux. Les autres flux restent comparables.

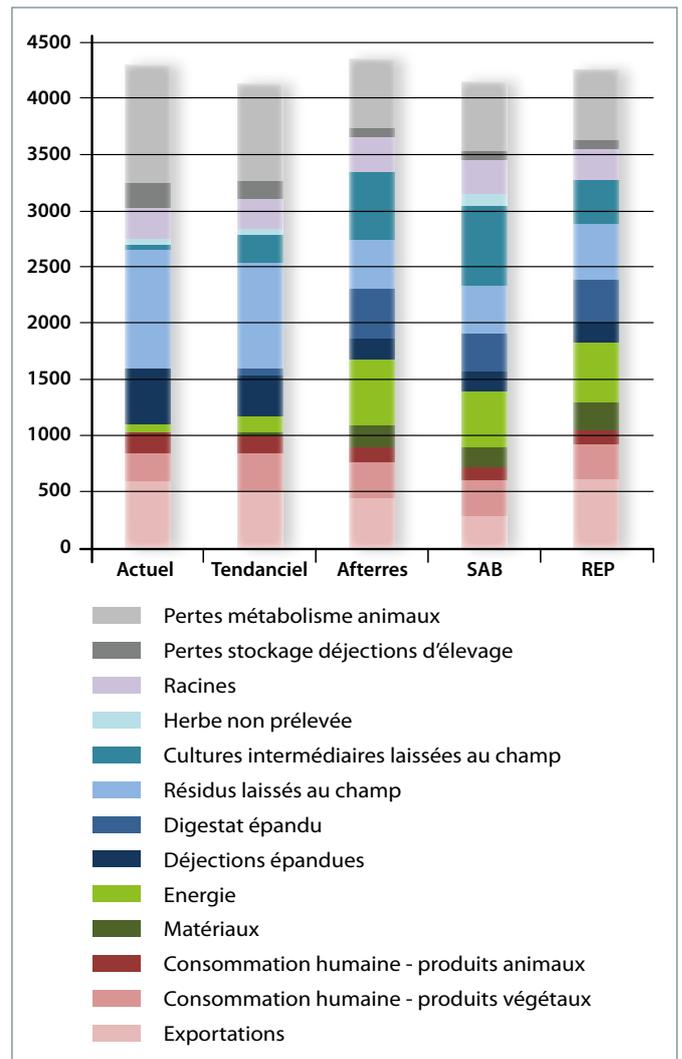
Les deux variantes se distinguent par l'arbitrage effectué : SAB conserve plus de flux d'énergie vers le sol mais au détriment des exportations, alors que REP représente l'exact opposé.

Les flux de carbone vers le sol ne sont pas significativement différents entre les scénarios étudiés et avec la situation actuelle. L'augmentation du stock de carbone dans les sols ne vient pas d'une modification des flux apportés, mais des modifications de pratiques avec le non labour et les techniques culturales simplifiées.

Les arbitrages apparaissent par identification des flux d'énergie. L'énergie primaire (des productions végétales primaires) aboutit soit dans les produits alimentaires consommés, y compris par exportation, soit dans les matières restituées au sol, après passage éventuellement par le système digestif des animaux, ou par celui des méthaniseurs. Les chaînes trophiques se concluent donc par 4 types de systèmes digestifs, celui des humains, celui des animaux, celui des digesteurs et celui des microorganismes du sol.

Ces flux permettent de discuter des arbitrages et à chacun d'exprimer ses préférences. On peut souhaiter un scénario qui vise un niveau d'exportation plus élevé, en contrepartie c'est la vie du sol qui risque d'être pénalisée (scénario REP). Inversement un scénario qui privilégie le sol doit réduire les exportations et la production d'énergie et matériaux.

On notera en effet l'importance prise par les productions non alimentaires, qui représentent 20 % de la production primaire. Il s'agit de productions d'énergie, principalement par méthanisation, et de matériaux. Ces productions sont issues des cultures intermédiaires, des éléments arborés, des résidus de culture, des déjections d'élevage. La quantité de carbone restituée aux



• Détail des flux d'énergie issue de la production végétale primaire.

champs est néanmoins comparable au niveau actuel, et représente environ la moitié de la production végétale primaire. L'indicateur carbone est d'autant plus favorable au scénario Afterres2050 que l'on considère les fractions les plus stables de la matière organique, avec toujours des niveaux relativement voisins selon les scénarios considérés, seul le scénario REP étant moins bien noté que les autres. Cet indicateur est de première importance ; pour autant il est rarement pris en compte dans ce type d'exercice, son mode de calcul est incertain et son interprétation l'est tout autant.

Scénario		Actuel	Tendanciel	Afterres v. Oct. 2015	SAB	REP
Année		2010	2050	2050	2050	2050
Carbone total	PJ	1 770	1 820	1 930	2 020	1 670
Carbone > 1 mois	PJ	1 290	1 280	1 390	1 370	1 230
Carbone > 6 mois	PJ	940	930	990	980	890

• Carbone restitué aux sols agricoles.

¹⁰⁹ 4400 PJ représentent 100 millions de tonnes de pétrole, soit les deux-tiers de notre consommation actuelle d'énergie finale. Les pertes dues au métabolisme animal représentent 30 millions de tonnes de pétrole.

Biodiversité et résilience des écosystèmes

Des écosystèmes 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...

La biodiversité préservée et les écosystèmes restaurés

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 sont en mauvais état de conservation¹¹⁰. De nombreuses espèces, en particulier celles dites spécialistes parce que dépendantes des espaces agricoles, sont en fort recul¹¹¹.

Afterres2050 assure la reconquête de la biodiversité : réduction de l'usage des pesticides, des engrais azotés, arrêt du drainage des zones humides, baisse de l'irrigation en période d'étiage ;

sauvegarde, restauration et augmentation des infrastructures agro-écologiques comme les haies ou les prés-vergers. Le scénario privilégie les formes d'agriculture reconnues pour générer de la biodiversité et pour remplir quantités de services écologiques dits aussi écosystémiques (Agriculture à haute valeur naturelle, HVN). 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 naturelle des populations de ravageurs, augmentation des pollinisateurs sauvages, tous « bienfaits » qui améliorent la productivité agricole.

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), qui a reculé de près de 70 % entre 1970 et 2000, avec une perte de 14,4 millions d'hectares¹¹², est maintenue : la perte des prairies naturelles est compensée par la généralisation des infrastructures agro-écologiques (IAE) et surtout par la diversification des assolements.

¹¹⁰ 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.

¹¹¹ C'est le cas des papillons de jours des prairies, des plantes messicoles, de l'outarde canepetière ou du râle des genets, toutes espèces qui, en effectifs ou en aire d'occupation, ont reculé de plus de 70 % depuis les années 1970.

¹¹² 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>

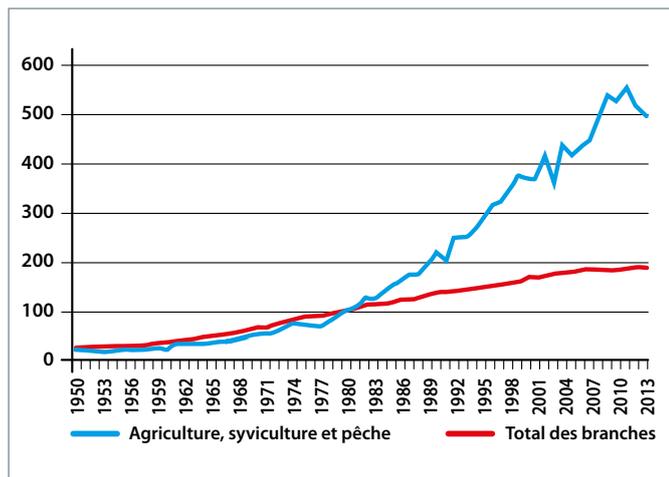
Economie et emplois

Quelques bases d'économie agricole

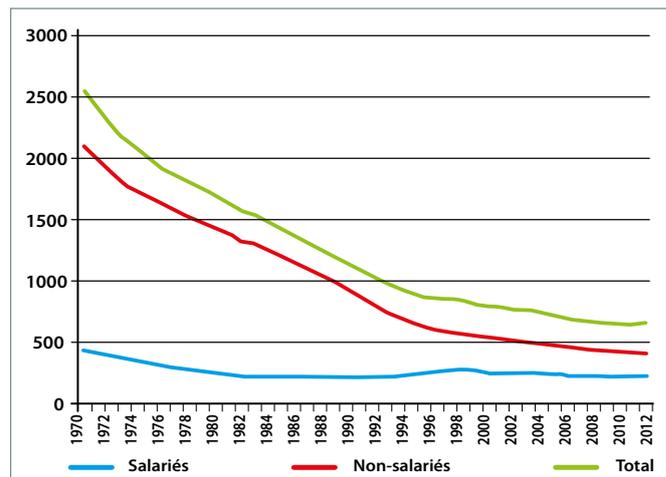
Une productivité en forte hausse, des emplois en forte baisse

La modernisation de l'agriculture s'est traduite par une forte augmentation de la productivité (c'est-à-dire la valeur ajoutée par quantité de travail), bien supérieure au reste de l'économie. En prenant l'année 1980 comme point de repère, elle a été multipliée par 5 en agriculture contre 2 pour les autres secteurs.

Cette productivité a augmenté beaucoup plus vite que la valeur ajoutée générée par l'agriculture, la quantité de travail a donc diminué, et de manière spectaculaire. De 2,5 millions d'emplois en 1970, elle est passée à 650.000 aujourd'hui.



• Évolution comparée de la productivité entre l'agriculture et le reste de l'économie, base 100 en 1980.



• Évolution du nombre d'emplois dans l'agriculture depuis 1970, en milliers.

Un modèle économique original

La valeur des productions de l'agriculture s'élève à 75 G€. En déduisant les consommations intermédiaires (engrais, semences, énergie, produits phytosanitaires, etc.), il reste 30 G€ de valeur ajoutée brute. Enlevons encore la consommation de capital fixe (liée aux investissements), les fermages et loyers, les intérêts des

emprunts, les impôts : il reste 14 G€ pour rémunérer les 650 000 salariés et chefs d'exploitation, soit moins de 1 800 € par mois. Un montant qui augmente de 9 G€ grâce aux subventions : celles-ci représentent 11 % de la valeur des productions agricoles mais 40 % de la rémunération de l'ensemble des actifs agricoles.

Production hors subvention (a)	75,3	Production hors subvention (a)	75,3
Produits végétaux	44,2	Consommations intermédiaires (b)	45,7
Céréales	11,2	Semences et plants	2,7
Oléagineux, protéagineux, betteraves et autres plantes industrielles	4,2	Energie et lubrifiants	3,6
Fourrages	5,6	Engrais et amendements	4,2
Produits maraichers et horticoles	5,8	Produits de protection des cultures	3,3
Pommes de terre	2,0	Dépenses vétérinaires	1,5
Fruits	3,0	Aliments pour animaux intra-branche	6,9
Vins	12,4	Aliments pour animaux achetés hors branche	8,3
Produits animaux	26,4	Entretien du matériel et des bâtiments	3,6
Gros bovins et veaux	8,1	Services de travaux agricoles	4,5
Ovins caprins équidés	0,8	Autres biens et services	7,5
Porcins	3,0	Valeur ajoutée brute (c = a - b)	29,5
Volailles, œufs	4,8	Consommation de capital fixe (d)	11,0
Lait et autres	9,7	Rémunération des salariés (e)	7,9
Services	4,7	Charges locatives et intérêts nets (f)	3,3
		Impôts sur la production (g)	1,6
		Subventions d'exploitation (h) (-)	8,6
		Résultat net de la branche agricole (c - d - e - f + g)	14,2

• Production agricole et construction du revenu agricole, 2015 ¹¹³.

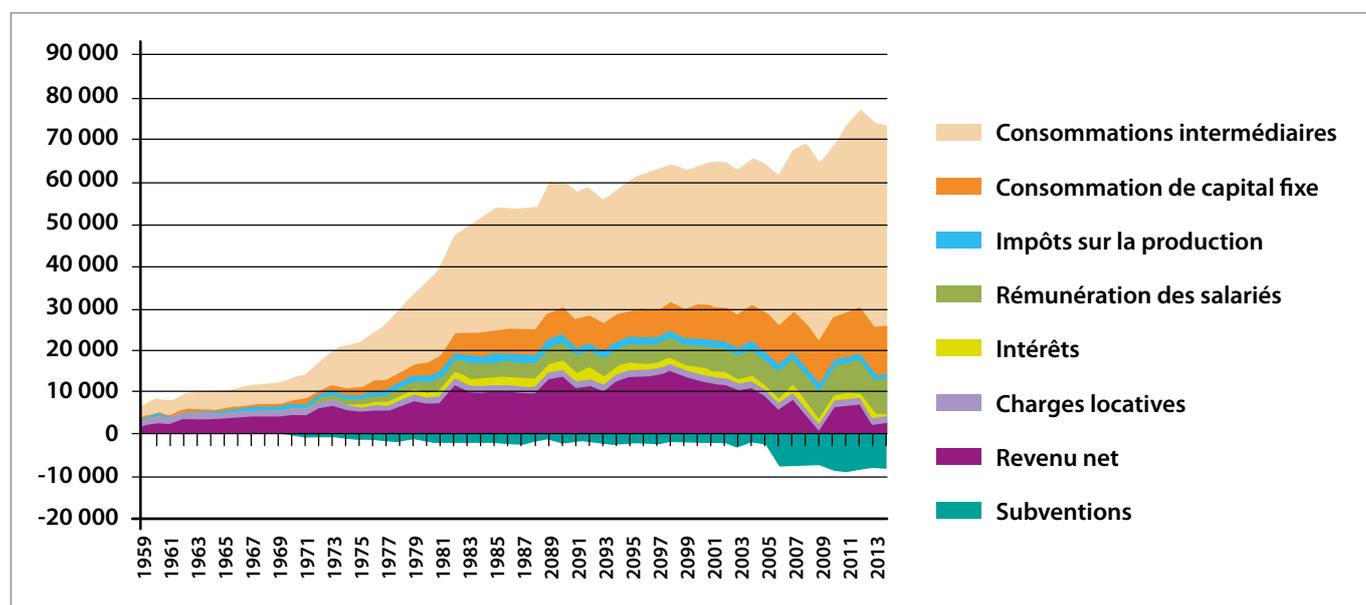
¹¹³ Source : Compte National de l'Agriculture en 2015 – document de travail présenté à la Commission des Comptes de la Nation. INSEE, Direction des Statistiques d'Entreprises, 2016.

Ces subventions sont versées au titre de la PAC, la politique agricole commune, mise en place à la suite du Traité de Rome en 1957, avec pour objectifs initiaux de promouvoir la modernisation de l'agriculture, soutenir le revenu agricole sans trop enchérir le coût de l'alimentation pour la population. Cette politique a réussi à bien des égards puisque la France est devenue un grand pays exportateur de céréales et de lait, alors qu'elle était historiquement à peine autosuffisante. Mais ce faisant ce sont 2 millions d'emplois qui ont été perdus en un demi siècle. L'analyse des principaux postes suivant permet de calculer le revenu agricole.

On note la forte progression des consommations intermédiaires : l'agriculture est une économie qui génère de nombreuses activités en amont. Le revenu net progresse moins vite que les consommations intermédiaires.

Il en va de même en aval : la part des dépenses alimentaires des ménages n'a cessé de diminuer au fil des décennies, mais l'agro-alimentaire et la distribution s'en tirent nettement mieux que les agriculteurs, et le partage de la valeur ajoutée n'est pas équitable. Maintenir les actifs agricoles et améliorer leur revenu implique une combinaison entre augmenter la valeur de la production, donc les prix de vente, et diminuer les consommations intermédiaires.

Dans le premier cas, c'est le pouvoir d'achat des ménages qui est impacté : s'ils dépensent plus pour se nourrir, ils dépenseront moins pour autre chose. Dans le second cas, c'est l'amont et l'aval de l'agriculture qui peuvent voir leur activité réduite. Dans tous les cas il s'agit de choix de société : voulons nous une agriculture prospère, voulons-nous rémunérer au juste prix la valeur des produits et des aménités offertes par le monde agricole ?



- Evolution des comptes de l'agriculture française depuis 1959, en euros courants.

Le graphique est en millions d'euros. La courbe haute (somme de tous les postes) exprime la valeur de la production agricole (le chiffre d'affaire). Le poste « subvention » augmente brutalement à partir de 2005 : en réalité celles-ci venaient jusqu'à cette date en soutien au cours des produits agricoles et participaient au chiffre d'affaire. Depuis la réforme de la PAC de 2003, les subventions découplées de la production sont devenues très majoritaires, comptablement elles n'apparaissent plus dans le chiffre d'affaire. Les subventions publiques indirectes (par exemple aux organisations agricoles tels que les instituts techniques ou les chambres d'agriculture) ne sont pas comptées ici.

Premières explorations des enjeux socio-économiques

Emplois agricoles : moins de consommations intermédiaires, plus d'emplois

Le scénario Afterres2050 est-il créateur ou destructeur net d'emplois ? Lesquels, et combien ? Pour tenter une première réponse, une évaluation socio-économique a été confiée à Philippe Quirion, du CIRED¹¹⁴, pour évaluer l'évolution nette en emplois. L'horizon temporel est 2030, un horizon plus lointain reposerait sur un trop grand nombre d'hypothèses indécidables.

Première étape : le calcul des emplois agricoles directs. Ceux-ci sont liés à la valeur de la production, donc aux volumes des différentes productions végétales et animales multipliés par leur prix de vente. On déduit les consommations intermédiaires, en diminution dans Afterres2050 puisque l'on consomme moins d'engrais, de fioul et de phytosanitaires. On déduit également les investissements, pour obtenir la valeur ajoutée nette. Pour arriver ici, il a fallu prendre des hypothèses sur les prix de vente : plusieurs jeux d'hypothèses ont été testés, jusqu'à 25 % d'augmentation pour les produits issus de l'agriculture biologique (la situation actuelle est de +40 %), de +10 % pour ceux issus des productions intégrées, et de +5 % pour les autres productions.

Autre hypothèse majeure, celle de l'évolution de la productivité. Celle-ci va-t-elle continuer à augmenter de 0,75 % par an ? Ou bien faut-il croire qu'elle va se stabiliser ? Si l'on choisit la première hypothèse, en appliquant le calcul à la valeur ajoutée nette, la productivité passerait de 21 200 € par actif aujourd'hui à 24 600 en 2030. Dans l'hypothèse où elle serait divisée par 2, la productivité passerait à 22 800 €.

A quelles conditions peut-on maintenir le nombre d'actifs agricoles ? Dans Afterres2050, avec une productivité de +0,75 % par an, les prix doivent être de +25 % pour la bio, +10 % pour les productions intégrées, et +1 % pour les productions conventionnelles. Dans ces mêmes conditions, le scénario Tendancier perd 50 000 emplois.

Dans le scénario Afterres2050, le chiffre d'affaire de l'agriculture est en légère baisse, alors qu'il augmente dans le scénario tendancier : l'effet prix ne compense pas l'effet volume. Mais les consommations intermédiaires et les investissements sont plus faibles, aussi la valeur ajoutée nette augmente et dépasse le scénario tendancier de 10 %.

Bien entendu, plus le coût relatif des productions bio et intégrées augmentent, plus le scénario Afterres2050 est créateur d'emplois. C'est également le cas si la productivité augmente moins vite. Si la productivité augmente deux fois moins vite (+0.375 % par an), le scénario Tendancier parvient à maintenir le nombre d'emplois, quand Afterres en crée 72 000. Ces calculs s'effectuent à subventions constantes. Comme le nombre d'emplois est calculé sur la base de la valeur ajoutée nette, le scénario Afterres2050 maintient ou crée plus d'emplois que le tendancier. Aussi les subventions sont à partager sur un plus grand nombre d'emplois. Ce qui explique que le résultat par emploi soit légèrement supérieur dans le scénario tendancier : si les subventions étaient proportionnelles au nombre d'emplois, le résultat serait strictement identique.

	2010	2030 Afterres	2030 Tendancier
Production, G€	65	63	67
Consommations intermédiaires, G€	39	35	38
Valeur ajoutée brute, G€	26	27	28
Consommation capital fixe, G€	10	8	10
Valeur ajoutée nette, G€	17	20	18
Subventions, G€	8,1	8,1	8,1
Impôts sur la production, G€	1,4	1,4	1,5
Résultat agricole net, G€	23	26	25
Résultat par actif, en k€	30	36	37
Nombre d'actifs (milliers)	789	799	736

- Principaux indicateurs macro-économiques pour l'agriculture selon le scénario.

Les emplois indirects et induits

Bien entendu, la diminution des consommations intermédiaires et de la production agricole a un effet négatif sur les emplois de l'amont et de l'agro-alimentaire en aval. La hausse des prix agricoles impacte également le pouvoir d'achat des ménages, mais cette fois c'est l'effet volume qui prime : les ménages achètent un peu moins et surtout des produits moins chers : plus de céréales et moins de viande, aussi la facture de l'alimentation des ménages diminue. Pour mesurer cet effet, la méthode employée est celle de l'analyse Entrée-Sortie.

L'économie nationale est modélisée dans son ensemble en mesurant la demande adressée par chaque branche d'activité sur toutes les autres. Ainsi la branche agriculture demande des engrais à l'industrie chimique, qui elle-même demande du gaz à la branche énergie. Branche énergie qui à son tour va acheter des bioénergies au secteur agricole.

¹¹⁴ Le Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement est une Unité Mixte de Recherche sous tutelle de différents établissements publics de recherche, dont le CNRS, AgroParisTech, le CIRAD.

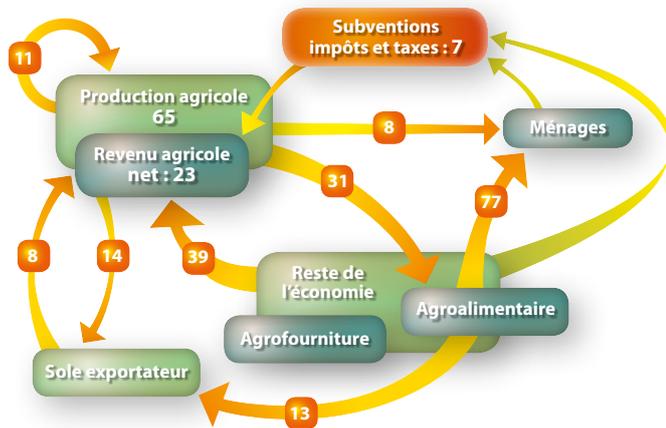
Le TES (Tableau Entrée Sortie) est un tableau matriciel établi par l'INSEE, qui permet de calculer la valeur ajoutée de chaque branche des secteurs primaire, secondaire et tertiaire, et donc le nombre d'emplois par branche, et d'identifier les relations entre les branches. Le moteur de l'ensemble étant la demande

finale des ménages (et des administrations, intégrées à la demande finale dans les comptes de la nation), ainsi que les exportations. Les importations sont comptées soit directement pour satisfaire la demande finale, soit ajoutées aux consommations intermédiaires des branches.

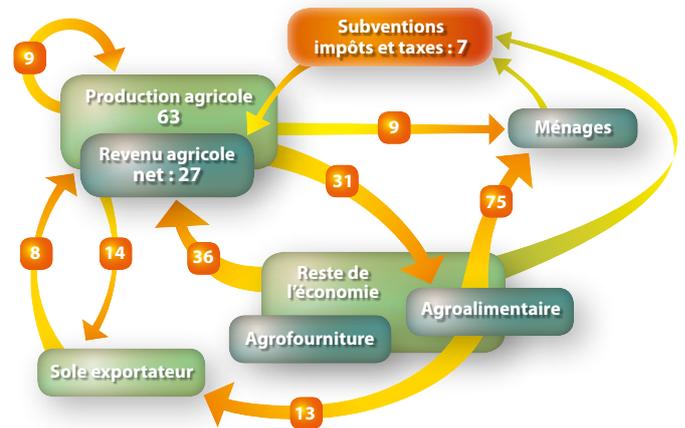
Schématisation des principaux flux monétaires entre les grands secteurs économiques (millions d'euros)

Lecture des graphiques : représentation des principaux flux monétaires, en G€, 2010. La production agricole, 65 G€, est vendue aux ménages, à l'agroalimentaire, à l'exportation ou à elle-même (aliments du bétail). Les revenus agricoles sont également alimentés par les subventions moins les impôts et taxes. L'agriculture achète au reste de l'économie des intrants. Les ménages achètent 90 % de leur alimentation à la distribution. L'agroalimentaire est également exportateur.

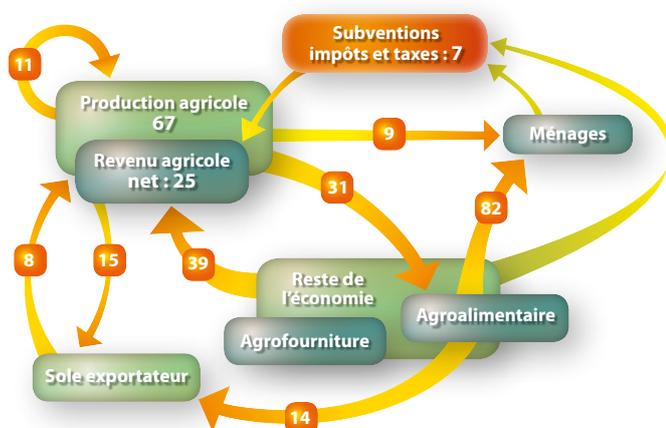
2010



Afterres, 2030



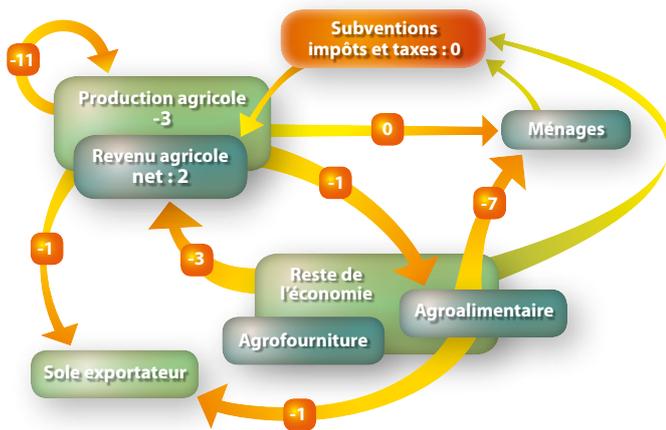
Tendancier, 2030



Dans le scénario Afterres2050, la production agricole diminue moins que les consommations intermédiaires, d'où un revenu agricole en augmentation. Le solde exportateur reste inchangé, de même que les dépenses des ménages. Globalement, les effets volumes compensent les effets prix.

Dans le scénario tendancier, le revenu agricole est un peu plus faible car les consommations intermédiaires n'ont pas diminué. Les dépenses des ménages augmentent, de même que les exportations.

Ecarts Afterres, Tendanciel 2030



Le graphique ci-dessus montre l'écart entre le scénario Afterres et le scénario Tendanciel. Le revenu agricole augmente de 2 G€, les exportations diminuent de 2 G€, et les ménages économisent 7 G€.

Ces 7 milliards d'euros économisés par les ménages peuvent se traduire de diverses manières. Ils peuvent être redistribués dans l'économie en général, sans que l'on puisse à ce stade affecter

Intégrer les externalités

Mais d'autres choix peuvent être effectués. Un travail de compilation effectué dans le cadre d'Afterres2050 permet de donner une estimation des externalités négatives liées à l'agriculture¹¹⁵. Le total varie entre 14 et 55 milliards d'euros par an. Avec des écarts selon les estimations pouvant aller de 1 à 10 sur certains postes selon les estimations.

Bien entendu il serait intéressant de connaître les externalités positives. Mais le sujet ici est de réduire les premières sans diminuer les secondes.

Dans la mesure où Afterres2050 conduit à une division par 2 ou 3 de l'ensemble des impacts mesurables, on peut admettre, qu'en ordre de grandeur le coût des externalités est lui aussi divisé par 2 à 3, soit d'au moins 7 G€ par an pour l'estimation la plus basse (la moitié de 17 G€), et jusqu'à 37 pour l'estimation la plus haute (deux tiers de 55 G€)...

Contentons nous du premier chiffre : il correspond exactement au gain de pouvoir d'achat des ménages, et il serait légitime qu'il soit intégralement restitué aux agriculteurs.

Evolution du nombre d'emplois, en milliers	Afterres vs Tendanciel	Afterres vs 2010
Agriculture	57	2
Agroalimentaire	- 60	4
Autres industries	16	17
Construction	17	21
Restauration	26	48
Autres services	69	41
Ensemble	125	134

- Ecart en nombre d'emplois en 2030 entre Afterres et le scénario tendanciel, et entre Afterres et la situation actuelle.

ce gain de pouvoir d'achat à un secteur en particulier. On crée ainsi des « emplois induits ».

Toutes choses égales par ailleurs, ces 7 G€ se traduisent par un gain de global de 125 000 emplois. Certains secteurs gagnent plus que d'autres. L'agroalimentaire est celui qui crée le moins d'emplois, 60 000 en moins par rapport au scénario tendanciel, même si le nombre d'emplois actuels est conservé.

	Valeur basse	Valeur haute
Pollution de l'air	460	3 240
Nitrates	26	1 930
Pesticides	270	420
Phosphates	72	290
Contrôle / conseil	26	72
Eutrophisation	14	250
Autres	50	270
Pollution de l'air	2 500	16 000
Ammoniac	1 840	13 800
Oxydes d'azote	670	2 230
Gaz à effet de serre	3 710	3 710
Pollution du sol	220	560
Santé humaine	7 180	31 400
Pesticides	6 740	28 000
Alimentation	440	3 420
Biodiversité et paysage	280	520
TOTAL	14 300	55 400

- Valeur des externalités négatives de l'agriculture (en M€).

¹¹⁵ Bâ M., Gresset-Bourgeois M. et Quirion P. (2015), Combien coûte la pollution agricole en France ? Une synthèse des études existantes. CIRED

Après 2050



**Conclusions
et perspectives**



Synthèse des principaux résultats

Indicateurs clés

Afterres2050 décrit comment il est possible de maintenir une production végétale primaire à un niveau proche de celui d'aujourd'hui en divisant par 3 l'ensemble des intrants et impacts : émissions de gaz à effet de serre (facteur 2,5 dans la version actuelle) et d'ammoniac, consommation d'azote minéral, d'énergie,

de produits phytosanitaires. Seule la consommation d'eau reste maintenue à un niveau proche (-15 %) du niveau actuel, les surfaces irriguées augmentant (+30 %) avec toutefois une différence majeure puisque l'irrigation d'été diminue de 80 % au profit de l'irrigation de printemps.

Scénario		Actuel	Tendanciel	Afterres v. Oct. 2015	SAB	REP
Année		2010	2050	2050	2050	2050
Production agricole primaire (+)	PJ	4 202	4 200	4 300	4 000	4 300
Solde exportateur agricole (+)	PJ	367	248	308	115	472
Productions agricoles non alimentaires (+)	PJ	41	192	787	665	762
Gaz à effet de serre (-)	MteqCO ₂	117	89	51	50	56
Empreinte carbone (hors matériaux et énergie) (-)	MteqCO ₂	109	96	46	48	52
Consommation d'azote minéral (-)	Mt	2,3	1,9	0,9	0,3	1,4
Emissions d'ammoniac (-)	kt	758	388	229	201	219
Indicateur phytosanitaires (-)	M doses NODU	88	57	23	4	44
Eau pour l'irrigation (-)	Mds m ³	2,8	3,7	2,4	2,2	2,9
Infrastructures agroécologiques (+)	kha	536	326	1 140	951	1 085

- Principaux indicateurs clés (la notation (+) et (-) indiquent le sens souhaité de l'évolution pour chaque indicateur).

En résumé, Afterres en 2050 c'est...

Une assiette plus saine et équilibrée

Régime alimentaire « demitarien », plus proche du « régime méditerranéen » – Diminution des surconsommations, pertes et gaspillages – Une consommation de poisson compatible avec la préservation des stocks mondiaux – Maintien de la consommation d'huitres et coquillages.

Un gain net en emplois

Moins d'emplois perdus que dans le scénario tendanciel – Un gain de pouvoir d'achat des ménages.

Une artificialisation limitée des terres agricoles, des espaces naturels et la forêt préservés

Division par 2 de l'artificialisation des terres agricoles – Augmentation de la surface forestière de 0,5 Mha – Maintien des prairies naturelles permanentes.

L'agroécologie généralisée

Généralisation des couverts permanents, des pratiques culturales simplifiées et du non labour – Généralisation des infrastructures agroécologiques – Augmentation de la teneur en carbone des sols et de leur activité biologique – Généralisation de la production intégrée et de l'agriculture biologique – Fort développement de l'agroforesterie, des cultures associées.

Une profonde mutation de l'élevage

Généralisation des signes de qualité – Diminution de la consommation et de la production de viande et de lait – Maintien des races bovines mixtes, forte diminution des cheptels spécialisés, en particuliers allaitants – Augmentation du cheptel ovin.

Une production agricole performante

Production végétale à un niveau équivalent à celui de la production actuelle – Diversification des productions, augmentation du maraichage et de l'arboriculture.

Division par 2 à 3 :

- des émissions de gaz à effet de serre, d'ammoniac
- de la consommation d'énergie, d'azote minéral, de phytosanitaires, d'eau en été,

... sans ruptures, uniquement par généralisation des meilleures pratiques et techniques connues.

Des échanges plus équilibrés avec le reste du monde

Augmentation de 60% des exportations de céréales alimentaires vers l'espace Méditerranée / Moyen Orient – Division par 2 des exportations de céréales fourragères vers l'Europe – Suppression des importations de soja et du déficit de la filière forêt – bois.

Une contribution majeure des bioénergies au bilan énergétique national

Augmentation des prélèvements forestiers dans le cadre d'une sylviculture durable, production conjointe de bois matériau (construction) et de bois-énergie – Fort développement de la méthanisation agricole, conçue comme un outil de la transition agroécologique et énergétique – Multiplication par 3 des bioénergies (incluant biomasses non agricoles) produites de façon durable.

Et alors ?

Elle, c'est Aurélie Robin. **Lui**, c'est Guillaume Roquecourt. Ils ont participé à l'exercice prospectif, leurs fermes nous ont servi de cas d'étude, et nous avons imaginé la suite de leurs histoires dans les « Focus » présentés dans ce document. Ils viennent de terminer la lecture de la brochure¹¹⁶. **Nous**, c'est Philippe, Madeleine, Christian, Sylvain, ainsi que Elen, Claire, Nicolas, Gaël. Les chevilles ouvrières du projet Afterres2050. Bien d'autres encore ont apporté leur contribution : Marc, Denis, Monique, Alain, Cécile, Arthur, Philippe, et les quelques milliers de personnes qui ont bien voulu nous prêter une oreille.

Nous, (un peu inquiets) : ... Alors ?

Lui : Alors... ça donne mal à la tête ! Beaucoup de chiffres, beaucoup de concepts à comprendre.

Elle : Oui, il faut vraiment se plonger dedans ! Merci pour l'avertissement du début : ça évite la noyade immédiate !

Nous : ... Et vous vous êtes reconnus ?

Elle : Complètement ! On a hâte d'arriver en 2035 !

Lui : C'est simplifié évidemment, mais dans l'ensemble c'est bien ça. Sur le terrain, tout ce que vous avez mis dans Afterres2050, on le pratique déjà plus ou moins. Souvent nous allons même plus loin que vous !

Nous : C'est le principe, justement. Pas de pari technologique ni sociétal.

Elle : Pas de pari jargonneux non plus, c'est presque réussi ! C'est un langage technique, un peu savant, ce n'est pas fait pour le grand public, il faut être assez averti.

Nous : Oui, c'est écrit pour un grand public averti ! L'idée est de s'adresser à tous les milieux et de proposer un outil de réflexion commun à tous les publics qui souhaitent discuter de ces questions.

Lui : Bon courage alors ! Vous avez déjà présenté vos travaux devant des éleveurs ?

Nous : Oui, en assemblée générale d'éleveurs laitiers en Mayenne par exemple ! Et aussi devant les Jeunes Agriculteurs de Bourgogne. Au ministère de l'agriculture, à l'invitation de son Secrétaire général. Pour des producteurs bio, des associations de consommateurs, des publics citoyens. Ou des groupes de recherche de l'INRA. Nous sommes toujours très bien accueillis, la qualité d'écoute est grande. C'est un peu plus compliqué dès que l'on monte dans les structures syndicales nationales, il y a des questions de posture, de ligne politique à tenir.

Elle : Parce que sur le terrain il y a des vraies interrogations et une vraie volonté d'évoluer. Beaucoup de souffrance aussi, de crispations, de blocages, un dialogue rompu, et à la base certainement une incompréhension réciproque entre le monde agricole et la société.

Lui : D'autant que le monde agricole et la société sont divisés, fragmentés même ! Et qu'on a le sentiment de ne plus du tout savoir où l'on va. C'était un peu l'objectif pour moi, voir où nous emmène Afterres2050. Réaliste ? Crédible ? C'était ce qui nous était annoncé.

Nous : ... et ?

Elle : Techniquement, c'est solide et argumenté. Sans doute que d'autres peuvent faire autrement ou mieux : il faut juste qu'ils le fassent ! Pour le moment vous n'avez pas tellement de concurrence sur ce terrain. Tout ce qu'on voit est partiel, on raisonne encore par filière, souvent pas très chiffré, et beaucoup de scénarios prospectifs en agriculture sont très optimistes et en décalage avec la réalité, quand on voit la violence de la crise.

Lui : Pour moi la question n'est plus de savoir si « c'est souhaitable » ni même si « c'est possible ». Maintenant on a les éléments du débat. Ce qui compte c'est le « comment ». Vous n'avez pas du tout abordé les questions politiques, sur l'économie ça reste assez exploratoire.

Elle : Et l'agroalimentaire ? Et l'agrofourmiture ? Et la grande distribution !

Lui : Et l'Europe !

Nous : Oui on sait. On a encore du travail !

Elle : Pendant vos universités d'hiver, vous aviez fait venir un universitaire belge pour parler du verrouillage des systèmes socio-techniques...

Nous : Oui, c'est Philippe Barret, il est agronome à Louvain.

Elle : ... si je me souviens bien, il considère qu'il faut plusieurs conditions pour faire émerger un nouveau système.

Nous : Un : établir un consensus sur les limites au système actuel. Deux : valider les alternatives proposées...

Lui : ... Trois : protéger et soutenir les pionniers !

Elle : J'allais le dire ! Et quatre : proposer quelque chose d'attrayant pour les agriculteurs.

Lui : C'est la clé de voute ! On ne changera pas l'agriculture sans les agriculteurs.

Elle : Et la forêt ? C'est intéressant ce que vous écrivez, mais on sent qu'il faudrait tout un chapitre !

Nous : Bon. Et qu'est ce qu'on a oublié encore ?

Elle : Vous voulez la liste des courses ?

Lui : Il y aura une suite ?

Nous : A votre avis ?



La fabrique d'Afterres2050

La démarche

Un scénario pour le débat public

L'idée du projet

Le scénario Afterres2050 est un exercice de prospective portant sur le système alimentaire français - du champ à l'assiette - réalisé par l'association SOLAGRO.

Afterres2050 a été conçu pour répondre à un ensemble de questionnements adressés par la société à l'agriculture : peut-on à la fois nourrir l'humanité, lutter contre le changement climatique, améliorer le revenu des agriculteurs, restaurer les écosystèmes, fournir de nouvelles productions et de nouveaux services, intégrer le bien être animal, garantir la qualité des produits, améliorer la santé des consommateurs, offrir saveurs, terroirs et paysages ? La liste est longue des injonctions souvent contradictoires adressées à l'agriculture.

Une démarche participative

Le défi de tenter d'apporter une réponse cohérente à toutes ces questions a été relevé lors d'un séminaire interne de l'association Solagro en novembre 2010. La première présentation publique du scénario date de mai 2011. Deux universités d'hiver ont rassemblé 150 personnes (agriculteurs, chercheurs, experts et citoyens) en 2012 et 2013 pour discuter, affiner, compléter les différents volets du travail. Une première publication sous forme de brochure est sortie en janvier 2014.

Nous avons ensuite travaillé à l'échelle régionale pendant deux ans avec :

- les acteurs de quatre régions françaises agriculteurs, forestiers, chercheurs, enseignants, élus et agents de collectivités territoriales, entrepreneurs, journalistes, nutritionnistes, etc. Soixante personnes se sont mobilisées dans chaque région pour les différentes réunions de travail

- un conseil scientifique pluridisciplinaire

Une seconde version du scénario, actualisée et enrichie, a été présentée les 15-16 Octobre 2015 à Nanterre, elle est publiée dans la présente brochure.

De nombreuses présentations ont été faites et débattues dans toute la France avec des publics très variés, dont les réactions continuent d'enrichir et de stimuler notre réflexion.

L'accompagnement d'un conseil scientifique

Un conseil scientifique composé de 18 chercheurs et chercheuses en agronomie, foresterie, pêche, économie, sociologie, procédés industriels, énergie, climat a accompagné les travaux de régionalisation. Sa mission : aider à consolider les bases scientifiques du scénario, à prendre de la hauteur par

rapport au travail technique de modélisation ou d'animation de la concertation, fournir des éclairages critiques et ouvrir de nouvelles perspectives. Espace d'échange des connaissances et des réflexions, le conseil scientifique a contribué à valider les choix méthodologiques, à orienter les réflexions et définir des axes prioritaires, éclairer les limites de l'exercice et son domaine de validité au regard de l'état actuel des connaissances. Il a également permis de communiquer sur la démarche vers la communauté scientifique et de faire émerger de nouveaux sujets de recherche.

Une approche en « bilan » qui permet de poser le débat : l'outil MoSUT (Modèle Systémique d'Utilisation des Terres)

Le scénario a été construit à l'aide d'un outil de modélisation, MoSUT (Modèle Systémique d'Utilisation des Terres) conçu par SOLAGRO et qui a été utilisé dans le cadre de différents exercices : notamment pour les travaux Trajectoires 2030-2050 de l'ADEME, réalisés pour alimenter le débat national sur la transition énergétique (DNTE) qui a abouti à la loi éponyme en Août 2015. Afterres2050 est quant à lui couplé avec le scénario négaWatt, premier scénario de transition énergétique pour la France, réalisé dans sa première version en 2003 par l'association négaWatt et qui montrait un chemin possible pour atteindre l'objectif «facteur 4», c'est-à-dire la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre. Les deux exercices, Trajectoire 2030-2050 de l'ADEME et les scénarios couplés négaWatt et Afterres2050, sont les seuls travaux de prospectives décrivant comment la France peut atteindre ce facteur 4 d'ici 2050, tous gaz à effet de serre confondus, sans se cantonner au seul CO₂ d'origine fossile.

Soulignons également qu'il n'existe encore aucun scénario de prospective de long terme pour l'ensemble du système alimentaire français, présentant à la fois une approche bilancielle et une évaluation multicritères. L'approche bilancielle consiste à modéliser, calculer et mettre en cohérence des données physiques. Elle repose sur des notions de surfaces, de quantités produites, consommées et perdues, à tous les stades du système, depuis les productions végétales primaires jusqu'aux usages finaux, alimentaires comme non alimentaires. L'évaluation multicritères repose sur un jeu d'indicateurs significatifs : par exemple valeur (en Joule) du solde exportateur, taux de réduction des émissions de gaz à effet de serre, indice de consommation de produits phytosanitaires, surface des infrastructures agro-écologiques, surfaces de prairies naturelles, quantité de carbone apporté au sol, solde du bilan d'azote, etc.

Physique, ascendant, normatif, récursif

Un modèle physique

Le scénario Afterres2050 peut donc être qualifié de physique. Le modèle décrit les bilans d'approvisionnement de plusieurs dizaines de denrées agricoles ou alimentaires, c'est-à-dire les flux de matière depuis la production agricole primaire jusqu'aux usages finaux, alimentaires et non alimentaires, en passant par les élevages, les transformations, les usages industriels, les

importations et les exportations. Il ne repose sur aucun moteur d'ordre socio-économique, car il impliquerait nécessairement de recourir à des hypothèses sur des niveaux de prix à long terme, et surtout de différentiels de prix, qu'il est impossible de modéliser.

Une méthode ascendante

Bâti par agrégation de données techniquement maîtrisées, il est également ascendant ou « bottom-up ». Par exemple le cheptel bovin laitier est décrit par un jeu de caractéristiques tel que rations alimentaires, production de lait et de viande, temps de pâture, fermentations entériques, pratiques de gestion des déjections d'élevage. Six types d'élevage laitiers sont décrits sur un panel qui va de la vache en pâture intégrale à 4 000 litres de lait jusqu'au zéro pâturage avec concentrés et 10 000 litres de lait. La première étape consiste à désagréger la « ferme France » : le troupeau laitier est réparti entre ces principaux types d'élevage de manière à obtenir une représentation simplifiée du cheptel laitier au niveau national. La scénarisation consiste ensuite à faire varier cette proportion pour créer des scénarios contrastés, par exemple un scénario plus orienté pâturage (régime à l'herbe) versus un scénario plus orienté intensification (régime avec concentrés).

Une approche normative

Le scénario est également normatif, c'est-à-dire que certains indicateurs font l'objet d'un objectif cible. L'exercice ne consiste pas ici à explorer l'ensemble des futurs possibles, mais d'identifier au moins une route conduisant à un futur souhaité, c'est-à-dire un scénario dont les indicateurs correspondent peu ou prou aux objectifs fixés initialement par les concepteurs du scénario. On parle d'exercice de « backcasting », ou parfois de rétro-prospective :

on définit un objectif futur et l'on remonte vers le présent, ce qui permet d'identifier des trajectoires et des vitesses d'évolution.

Une démarche itérative

En conséquence, le scénario est récursif, car la solution trouvée in fine n'est pas la première solution trouvée, et il a fallu corriger, par retouches successives, les premiers essais pour parvenir au résultat final. L'une des questions initialement posées consistait à identifier à quelles conditions l'agriculture pouvait diviser par 4 ses émissions de GES, conformément aux objectifs nationaux. Ces conditions ont été rapidement jugées inacceptables puisqu'elles impliquaient, dans l'état des pratiques et des techniques mobilisables à grande échelle à l'échéance 2050, un abandon important des surfaces agricoles par afforestation de plusieurs millions d'hectares de prairies naturelles. L'objectif « facteur 2 » a été quant à lui jugé faisable sans pari technique ni sociétal, c'est-à-dire uniquement par la massification de solutions existantes et par le renforcement de tendances en cours. Les travaux ultérieurs ont permis d'aller au delà de ce facteur 2 : la consigne désormais est de viser à minima le facteur 2 et d'aller aussi loin que possible et souhaitable vers le facteur 4. Ce qui implique que les autres secteurs, comme le bâtiment, les transports et l'industrie, aillent plus loin que le facteur 4 : ce qui est bien le cas du scénario négaWatt qui vise un facteur supérieur à 8 pour le CO₂ énergie.

Conjuguer les échelles

Une dimension nationale inscrite dans une vision mondiale

Le scénario Afterres2050 a été conçu initialement à l'échelle de la France métropolitaine. Les « limites du système » ont été gérées en intégrant une contrainte de maintien relatif du solde exportateur : maintien des exportations de lait sous ses différentes formes, augmentation de 60 % des exportations de céréales destinées à l'alimentation humaine vers les régions qui seront nécessairement déficitaires en 2050, c'est-à-dire l'ensemble du bassin méditerranéen et du Moyen-Orient, en se basant sur la prospective Agrimonde (version G1), et diminution des exportations de céréales fourragères vers l'Europe en parallèle à la diminution du cheptel européen.

La régionalisation

La seconde phase du projet - après la phase initiale qui a consisté à imaginer un premier scénario au niveau national - a consisté à travailler à d'autres échelles géographiques, notamment l'échelle des régions administratives de 2015. D'autres choix auraient pu être préférés, plus en lien avec la géographie agricole par exemple, mais le partenariat avec des entités politiques que sont les Conseils Régionaux présente l'intérêt de permettre un travail collaboratif dans un espace de concertation largement ouvert. Les travaux ont été menés en partenariat avec les régions Centre Val de Loire, Ile-de-France, Picardie et Rhône-Alpes et grâce à la mobilisation de nombreux acteurs des différents secteurs d'activité concernés.

Second changement d'échelle : le niveau local

Une troisième échelle de travail a été ajoutée, celle de « fermes type », afin de tester la cohérence de systèmes nouveaux à l'échelle d'unités de production de base. Il ne s'agit pas à proprement

parler d'exploitations agricoles puisque la forme même des entreprises agricoles à l'horizon 2050 reste une inconnue. Cette échelle permet de vérifier la faisabilité de nouveaux agrosystèmes (systèmes de culture et systèmes d'élevage), et de mieux intégrer les effets du changement climatique. Chacun des trois échelons - local, régional et national - s'alimente l'un l'autre.

Par exemple, en régions de grande culture, le passage massif (près de 50 % de l'assolement) à des systèmes en agriculture biologique modifie radicalement la question de l'azote, par rapport à des situations où l'agriculture biologique est marginale : ces agrosystèmes doivent être autonomes en azote, ce qui implique une surface suffisante de légumineuses, qui constituent la seule source primaire d'azote en agriculture biologique. L'un des facteurs limitant est le débouché pour ces légumineuses. La priorisation de l'élevage de ruminants en régions de montagne, sur prairies naturelles, dans un contexte de réduction globale du cheptel, interdit d'imaginer un cheptel bovin qui soit à la hauteur de ces productions de légumineuses en régions de grandes cultures, d'autant que, il faut le rappeler, tout élevage est exportateur net d'azote. Différents types de débouchés ont donc été imaginés : alimentation humaine, exportation pour l'alimentation animale, engrais verts, y compris avec la variante méthanisation de manière à reconstituer des cycles de l'azote qui soient proches de ceux que l'on rencontre dans les systèmes polyculture-élevage.

Entre autres enseignements, l'exercice démontre les limites des systèmes polyculture élevage : cette solution ne peut pas être généralisée à l'ensemble du territoire national, et il est nécessaire de construire des agrosystèmes qui soient à la fois autonomes en azote et sans élevage.

Le travail de modélisation : décomposition et recomposition

A l'échelon régional, la sole agricole a été décomposée en différents systèmes de culture types, représentatifs des pratiques régionales, et décrits par une rotation. La scénarisation consiste ici d'une part à imaginer d'autres systèmes types et d'autre part à faire évoluer la proportion de chacun de ces systèmes. En régions de grande culture, les rotations actuelles sont largement dominées par les céréales, aussi tout allongement et diversification des rotations implique nécessairement une diminution de la sole en céréales, au profit essentiellement des légumineuses graines ou herbacées. Inversement en région d'élevage, ce sont les cultures fourragères qui cèderont de la place aux grandes cultures tant céréalières que protéagineuses. Nous disposons donc désormais de tout un jeu de « briques » élémentaires (des fermes types en grandes culture, élevage bovin lait, bovin viande, granivores) qui permet à la fois de décrire la situation actuelle et d'envisager des situations futures, par assemblage au niveau régional puis au niveau national.

Principes et valeurs

La démarche et le scénario Afterres2050 s'appuient sur plusieurs principes :

- Mobiliser des pratiques et techniques maîtrisées ;
- Privilégier autant que possible des voies dites « sans regret » ou « à dividendes multiples » ;
- Développer une approche holistique.

Mobiliser des pratiques et techniques maîtrisées

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. Il ne s'agit ni d'un retour vers le passé, ni d'un pari sur d'hypothétiques avancées scientifiques ou techniques révolutionnaires. Toutes les pratiques et techniques mobilisées dans notre scénario existent déjà et sont pratiquées avec succès par des agriculteurs pionniers, elles sont basées sur les connaissances apportées par la science et des innovations mises en œuvre concrètement. Le travail de scénarisation consiste à généraliser autant que possible les meilleures pratiques et techniques existantes.

Privilégier des voies sans regret ou à dividendes multiples

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 avec nitrates et pesticides, à lutter contre la baisse

Interroger la demande, l'articuler avec l'offre

Le scénario conjugue les échelles géographiques, il cherche également à articuler l'offre et la demande. L'évolution de la demande n'est pas posée comme un postulat de départ, mais comme une construction sociale qu'il convient d'interroger. Les travaux s'appuient notamment sur les premiers résultats du programme BioNutriNet, qui mettent en évidence l'intérêt des régimes de type demitarian¹⁷ en termes de santé publique (réduction de l'obésité et du surpoids notamment). Ceux-ci se caractérisent, par rapport au régime alimentaire actuel, par un recours accru aux protéines végétales, aux céréales peu raffinées, fruits, légumes, légumineuses et fruits à coques, et une moindre consommation de produits d'origine carnée, de fromage, de sucre courts, de produits raffinés ou transformés. La connexion étroite entre le champ et l'assiette, en terme de modélisation des flux, reste peu fréquente, et constitue l'un des apports d'Afterres2050

inquiétante de nos populations d'insectes pollinisateurs, à réduire notre dépendance aux importations de protéines 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 cherche à défragmenter les problématiques :

- les 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,
- les disciplines : agronomie, socio-économie, écologie.

Ces problématiques ne sont pas réduites à des objets d'analyse indépendants mais sont 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 pas de résoudre tous les dilemmes identifiés par la démarche systémique. L'évaluation globale, multicritères, est un moyen d'analyse.

¹⁷ Le régime demitarian (néologisme apparu voici une dizaine d'années) est basé sur un équilibre entre protéines animales et protéines végétales de 40/60, ce qui revient à diviser par 2 environ la consommation de produits d'origine animale, ce qui le situe à égale distance entre le régime moyen actuel des pays riches et un régime végétarien.

Trois variantes + un tendanciel ...

Deux variantes du scénario Afterres2050 ont été construites : le scénario « SAB » (Santé, Alimentation, Biodiversité) et le scénario « REP » (Résilience et Production). Un scénario dit « tendanciel », qui est une projection du système actuel avec ses tendances et surtout sous contraintes climatiques, a également été produit : il permet des comparaisons plus pertinentes qu'avec la situation actuelle.

SAB met l'accent sur la qualité nutritionnelle des aliments, les aspects sanitaires et environnementaux, il est en « tout Bio ». REP est plus soucieux de la sécurité alimentaire, il se veut plus productif et met plus l'accent sur les exportations. Les trois variantes restent cependant toujours relativement proches, il s'agit bien de tester différentes voies pour parvenir à des objectifs similaires. On notera par exemple que le temps de pâture en élevage laitier dépasse 60 % pour les 3 variantes, que les systèmes Bio + intégré représentent 50 % de l'assolement dans REP, que SAB utilise 20 % des résidus de culture et cultures

intermédiaires en méthanisation. Le scénario Afterres2050 intègre une augmentation jugée incompressible de 1,5 Mha de surfaces artificialisées, soit 0,8 Mha de moins que dans le scénario tendanciel.

La surface de la forêt augmente légèrement de 0,6 Mha (au lieu de diminuer de 0,6 Mha), et les prairies naturelles perdent 1 Mha, au lieu de 1,5 Mha, traduisant une inflexion notable de l'évolution en cours mais sans toutefois l'annuler. Le scénario fait l'hypothèse que la disponibilité en poisson se réduit fortement du fait des menaces pesant sur les stocks mondiaux, ce qui représente une contrainte forte sur l'équilibre alimentaire.

Le scénario Afterres2050 généralise les couverts permanents, les techniques culturales simplifiées, les rotations longues et les infrastructures agroécologiques. Il prévoit un fort développement de la méthanisation, de l'agroforesterie, des cultures intégrées, et d'une manière générale toutes formes d'associations et de mixité.

	Actuel	Tendanciel	Afterres	SAB	REP
	2010	2050	2050	2050	2050
Alimentation					
Protéines végétales	38 %	44 %	61 %	61 %	48 %
Surconsommation + pertes	33 %	31 %	20 %	20 %	18 %
Cultures					
Bio	2 %	15 %	45 %	90 %	15 %
Intégré	1 %	10 %	45 %	7 %	35 %
Raisonné	97 %	75 %	10 %	3 %	50 %
Elevage					
Production de lait par vache	6400	7800	6100	5900	6400
Temps de pâture	40 %	36 %	66 %	68 %	62 %
Poules pondeuses en cage	69 %	50 %	5 %	2 %	15 %
Porc	Conventionnel 91 %	Conventionnel 74 %	Bio sous bâtiment 41 %	Bio sous bâtiment 64 %	Amélioré 58 %
Matériaux et énergie					
Taux d'utilisation des pailles comme matériau		1 %	15 %	10 %	15 %
Taux d'utilisation des pailles en méthanisation		4 %	30 %	20 %	30 %
Taux d'utilisation des cultures intermédiaires en méthanisation		7 %	33 %	20 %	33 %

- Hypothèses représentatives des scénarios étudiés.

Dans les arcanes comptables de la bioéconomie

Les statistiques portant sur l'alimentation, l'agriculture ou la forêt obéissent à des règles comptables qu'il est important de bien comprendre pour se lancer dans un tel exercice. Et comme nous entendons bien susciter des émules et des vocations, il n'est pas inutile de se plonger dans les arcanes de ces comptabilités.

Unités de compte

Nous utilisons aussi bien les unités courantes comme la tonne, que les unités scientifiques du système International comme le Joule. Pour l'énergie, trouver les tables de conversion entre les TéraWattheures (TWh) et les Pétajoules (PJ) est aisé, mais il faut d'abord savoir de quoi l'on parle. Les valeurs énergétiques utilisées dans Afterres2050 sont toutes exprimées en énergie

primaire, et en pouvoir calorifique supérieur (PCs), sauf mention contraire. Tous les flux de biomasse peuvent être comptés en valeur énergétique, à commencer par l'alimentation. La valeur énergétique des aliments, pour les nutritionnistes, est équivalente à la valeur PCs des énergéticiens.

Compter notre alimentation

Aliments achetés, aliments ingérés

Chaque français ingurgite près de 2,5 kg d'aliments et boissons chaque jour. On en connaît le détail par des enquêtes de comportements alimentaires, notamment la vaste étude INCA2 qui est probablement la plus représentative en la matière. Le budget alimentaire des ménages est connu par les enquêtes réalisées par l'INSEE, mais celles-ci ne permettent pas de connaître la masse des aliments consommés.

La FAO pour sa part produit des bilans d'approvisionnement détaillés depuis 1961, sur la base des données fournies par les Etats¹¹⁸. Ceux-ci permettent de connaître la quantité

de denrées alimentaires consommées pour l'alimentation humaine par type de denrée¹¹⁹. Les statistiques issues des bilans d'approvisionnement de la FAO agrègent certaines denrées : par exemple la rubrique « blé et produits issus du blé » compte la farine, les pâtes, le pain, le sirop de glucose, soit un total d'une quinzaine de denrées consommées par les ménages, directement ou indirectement. Ces ingrédients sont comptés en « équivalent blé », en intégrant des rendements matières de manière à convertir les produits transformés en produits agricoles de base. Cette manière de compter est très différente de

Sauf indication contraire, les données concernant l'alimentation humaine sont présentées ici sous le format des bilans d'approvisionnement de la FAO, c'est-à-dire les denrées agricoles en équivalent à la production, hors eau et boissons non alcoolisées.

	Aliments ingérés (INCA2)	Aliments achetés (FAO)	FAO / INCA2
	g/jour pour un adulte	g/jour par personne ¹²⁰	
Céréales (y compris viennoiseries, riz, biscuits, gâteaux, pizzas, quiches, sandwiches)	281	344	1,2
Pommes de terre	58	150	2,6
Sucre	21	103	5,0
Légumineuses	10	28	2,9
Huiles	15	66	4,4
Légumes	139	284	2,0
Fruits	160	302	1,9
Boissons alcoolisées	155	239	1,5
Viandes (y compris charcuterie, inclus plats composés)	188	297	1,6
Lait (y compris fromage, beurre, entremets, desserts)	246	685	2,8
Œufs	15	34	2,2
Poissons et fruits de mer	31	95	3,1
TOTAL	1 319	2 627	1,99
Autres (café, thé, soupes, bouillons...)	367		
Boissons non alcoolisées	1 058		
Total général	2 463		

- Comparaison entre les valeurs INCA et les valeurs FAO.

¹¹⁸ En France il s'agit d'AGRESTE - Service de la Statistique et de la Prospective du Ministère de l'agriculture.
¹¹⁹ La FAO utilise une nomenclature spécifique, la FAOStat Commodity List (FCL), avec plusieurs niveaux d'agrégation, qui détaille l'ensemble des denrées alimentaires, produits agricoles bruts ou transformés (sucre, huile...), et permet d'estimer des échanges entre pays.
¹²⁰ Il s'agit des valeurs données par la FAO, en tonnes, et divisées par le nombre d'habitants en France métropolitaine, soit 63,5 millions d'habitants, en moyenne sur les années 2008-2011.

l'approche des nutritionnistes, qui comptent les aliments ingérés. Par exemple, l'enquête INCA2 comptabilise le contenu de la tasse de café bue, le bol de riz cuit, les légumes épluchés et cuits, la côte de bœuf désossée et cuite, mais ne compte pas ce qui reste dans l'assiette. L'INCA2 additionne aussi lait et fromages sans considérer qu'il faut 10 litres de lait pour faire un kg de fromage. Pour sa part, la FAO compte le grain de café, le riz décortiqué, les légumes à l'état brut, la carcasse de bœuf. Les deux modes de comptage ne sont pas comparables, il n'existe pas de tables de conversion entre les différents modes de comptabilité. Ainsi, 1 kg de lentilles sèches (pour la FAO) pèse 3,5 kg (selon INCA) une fois cuites. Les statistiques agricoles françaises ou internationales ne sont donc absolument pas comparables aux assiettes décrites par les enquêtes sur les pratiques alimentaires.

On peut tenter une comparaison entre les données INCA et FAO, en excluant l'eau de boisson et les boissons non alcoolisées dont la masse correspond également à de l'eau de consommation (café, thé...). Pour les principaux postes, on observe un facteur de 1,2 à 5 entre la consommation au sens de la FAO et l'alimentation au sens INCA.

L'écart provient de nombreuses différences : pertes et gaspillages bien entendu, ainsi que rendements matière, mais aussi le fait que, par exemple, l'huile de friture est bien consommée par les ménages, mais non ingérée ; que le sucre est dissimulé dans de nombreux aliments ; etc.

Principales sources d'information sur les pratiques alimentaires et la qualité des aliments

L'ANSES, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, est un établissement public à caractère administratif créé en 2010 par les ministères chargés de la santé, de l'agriculture, de l'environnement, du travail et de la consommation. L'ANSES est en charge de plusieurs dispositifs majeurs concernant l'alimentation et la santé, notamment :

- Les enquêtes **INCA** (étude individuelle nationale sur les consommations alimentaires) : les enquêtes INCA pilotées par l'ANSES fournissent une photographie complète des habitudes alimentaires de la population métropolitaine à partir d'un échantillon représentatif de 3 à 4 000 personnes. Après INCA1 (1999) et INCA2 (2006-2007), INCA3 lancée en 2014 sera prochainement publiée.
- L'établissement des **ANC** (apports nutritionnels conseillés) sont des valeurs définies pour chaque nutriment (protéines, oligoéléments comme le fer, minéraux comme le calcium, vitamine C, acides gras...) comme étant l'apport permettant de couvrir les besoins physiologiques d'un groupe de population (caractérisé par son âge, son sexe, ...). Ils correspondent en général à 130 % du besoin nutritionnel moyen du groupe, de manière à ce que le risque de carence soit minime. Les ANC ne sont pas une norme mais un repère, qui donne également des valeurs limites inférieures et supérieures. La

dernière actualisation des ANC date de 2010, une prochaine édition prendra en compte les résultats d'INCA3.

- L'établissement de la table CIQUAL de composition nutritionnelle des aliments et les indicateurs nutritionnels et économique de l'OQUALI publiés par l'observatoire de l'alimentation.
- La production d'avis, sur la base d'un rapport d'expertise collective, pour établir et actualiser les repères du PNNS.

Le **PNNS** : Plan national nutrition santé est établi par le Haut Conseil de la Santé Publique. C'est un plan visant à améliorer l'état de santé de la population en agissant sur un de ses déterminants majeurs : la nutrition. La nutrition étant entendue comme l'équilibre entre les apports de l'alimentation et les dépenses liées à l'activité physique : manger-bouger est le slogan du plan en cours. Le prochain plan, PNNS 4 est attendu en 2017.

L'**INPES** : Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé, qui a fusionné en 2016 avec L'Institut de Veille Sanitaire (InVS) et l'EPRUS (Établissement de Préparation et de Réponse aux Urgences Sanitaires) pour devenir **Santé Publique de France**.

ESTEBAN : l'étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition, est une enquête pilotée par l'InVS (Institut national de veille sanitaire, établissement public sous tutelle du ministère de la santé) et l'INPES (Institut national de prévention et d'éducation pour la santé, EPA créé en 2002), tous deux fusionnés au sein de Santé Publique de France dressant un portrait précis de l'alimentation de la population, de l'activité physique, de la prévalence de pathologies chroniques et facteurs de risque et de l'exposition à de nombreuses substances de l'environnement. Elle est conçue pour être renouvelée tous les 7 ans.

NutriNet-Santé : enquête coordonnée par l'équipe de Recherche en épidémiologie nutritionnelle (ERE - Inserm/ Inra / CNAM / Université Paris 13) avec le soutien de nombreux partenaires. Son but est d'identifier des facteurs de risque ou de protection liés à la nutrition, pour les maladies qui sont devenues aujourd'hui des problèmes majeurs de santé publique, en vue d'établir des recommandations nutritionnelles visant à prévenir ces maladies et à améliorer la santé des populations. NutriNet mobilise une cohorte de 500 000 « nutrinautes » volontaires. L'étude BioNutriNet en cours vise à établir l'impact nutritionnel, économique, environnemental et toxicologique de la consommation d'aliments issus de l'agriculture biologique.

La **DREES**, Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques du ministère de la santé, réalise régulièrement un rapport d'évaluation sur l'état de santé de la population en France, qui comporte des chapitres ayant trait aux pratiques alimentaires.

Du champ à l'assiette : les bilans d'approvisionnement

Les bases de données statistiques de la FAO

Pour élaborer le scénario Afterres2050, notre modélisation part d'une année de référence « 2010 », qui est en réalité la moyenne des 5 dernières années pour lesquelles nous disposons des statistiques complètes de production, transformation, commercialisation et consommation.

Ces statistiques sont issues de la FAO, qui fournit des données par pays depuis 1961. La FAO utilise les données fournies par chaque pays : statistiques agricoles et agroalimentaires du Ministère de l'agriculture, statistiques des douanes pour le commerce extérieur. Il existe deux comptabilités et donc deux nomenclatures différentes. La base de données « Commerce » de la FAO utilise une nomenclature qui détaille environ 600 produits

N° rubrique base « Commerce »	Intitulé
15	Blé
16	Farine de blé
17	Son de blé
18	Pâtes alimentaires
19	Germes de blé
20	Pain
21	Boulgour
22	Pâtisseries
23	Amidon de blé
24	Gluten de blé
41	Céréales pour petit déjeuner
110	Gaufres
114	Pâtes pour boulangerie - pâtisserie
115	Aliments, préparations de farines, semoules ou extraits de malt

- Correspondance entre les nomenclatures de la FAO, exemple du blé – composition détaillée de la rubrique 2511 de la base de données Bilans des produits.

Bilan emplois - ressources

Un bilan d'approvisionnement est un tableau « emplois / ressources », qui décrit les flux d'entrée / sortie des productions agricoles et agroalimentaires.

Les ressources sont constituées de la production intérieure précédemment calculée, 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.

issus de l'agriculture et de la pêche. Par exemple, on compte 14 produits issus du blé, et 33 produits issus du lait. Les données en masse (en tonnes) sont exprimées pour les produits « tels quels », c'est-à-dire que 1 kg de fromage exporté (rubrique 901 de la nomenclature Commerce) est compté comme 1 kg de produit.

La base de données « bilan alimentaire et équilibre des produits » obéit à des logiques de bilans comptables, il s'agit d'un tableau ressources - emplois équilibré. On comptabilise ici aussi bien des données de production primaire (par exemple le lait de vache) que des quantités consommées, transformées ou exportées.

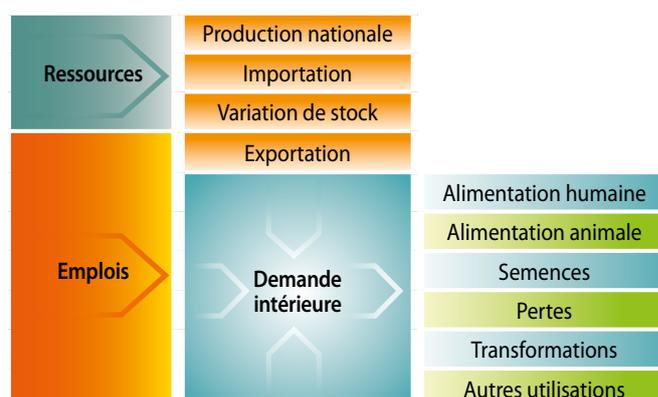
Pour rendre comparable l'exportation de 1 kg de fromage et la production des 7,7 litres de lait de vache qui ont servi à sa fabrication (rubrique 882 de la nomenclature Commerce), on comptabilise en équivalent primaire : c'est-à-dire que 1 kg de fromage issu de lait de vache sera compté pour 7,7 litres de lait équivalent primaire.

La base de données « Bilans » de la FAO utilise donc une nomenclature spécifique dans laquelle les produits ne sont pas comptés en masse « tels quels », mais en « équivalent primaire ». L'ensemble des produits issus du blé par exemple relèvent de la nomenclature Bilan, rubrique 2511, qui donne la quantité de blé correspondant à l'ensemble des produits finaux.

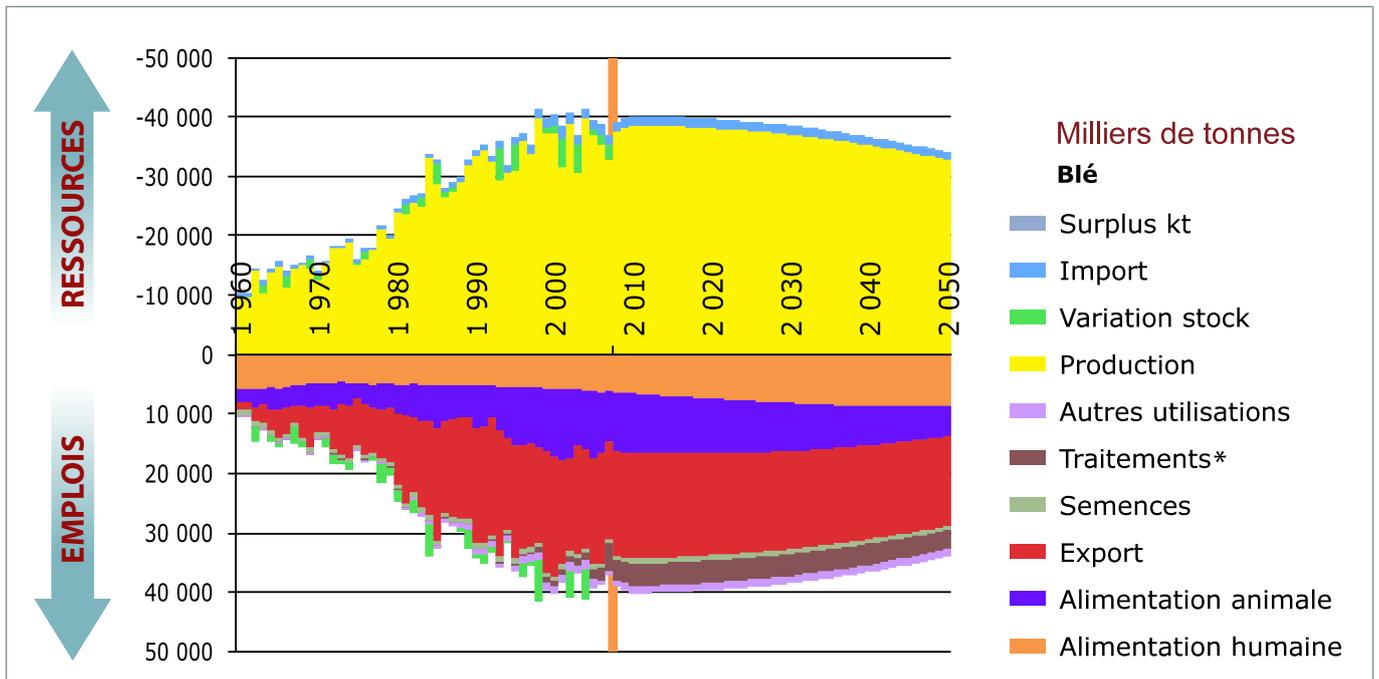
De même, la rubrique 2848 de la nomenclature Bilan additionne l'ensemble des produits fabriqués avec du lait, en équivalent litres de lait.

Les tables de bilan utilisent des rubriques agrégées telles que « Céréales » par exemple, qui additionnent l'ensemble des produits en équivalent primaire issus des céréales, sauf exception (par exemple la bière, tirée de l'orge, n'est pas comptée ici, mais dans la rubrique 2924, « Boissons alcooliques ». Les données de la base « Commerce » ne sont pas directement comparables à celles issues de la base « Bilan & Equilibre des Produits ».

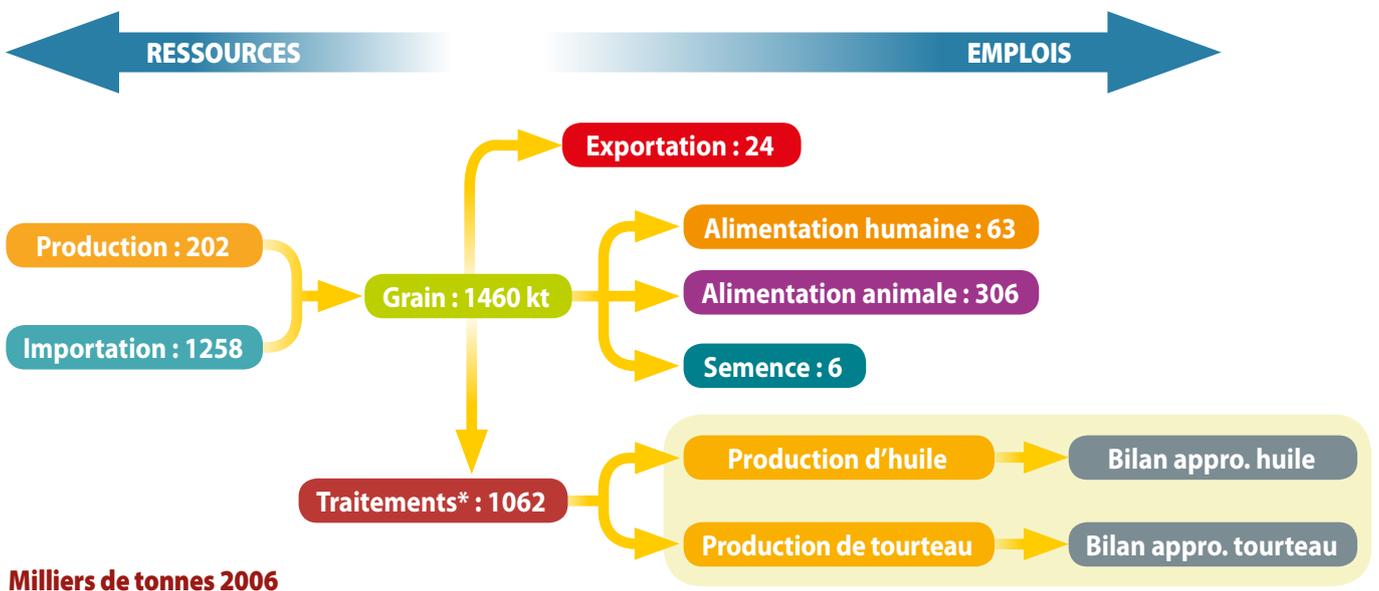
Ainsi, les exportations de « lait » au sens de la base « Commerce » représentent près de 3 millions de tonnes de produits laitiers (lait, fromages, lait en poudre...), alors qu'au sens de la comptabilité « Bilan » elles totalisent 9,3 millions de tonnes de lait en équivalent primaire.



- Principe de construction des tableaux emplois - ressources.



• Exemple d'évolution du bilan d'approvisionnement du blé, en milliers de tonnes.
 Les ressources sont représentées en partie haute du graphique, les emplois en partie basse : les deux termes sont strictement symétriques. 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.



• Exemple d'un bilan d'approvisionnement (grain de soja).
 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.

* Traitements : transformation en amidon, éthanol, ou autres produits non alimentaires.

		A1. Disponibilité alimentaire	A2. Aliments pour animaux	A3. Traitement	A4. Autres utilisations	A5. Semences	A6. Pertes	B1. Disponibilité intérieure	B2. Exportations	C1. Importations	C2. Variation de stock	C3. Production
2905	Céréales - Exclu Bière	7 765	21 337	2 945	2 998	1 155	558	36 758	33 016	3 619	403	65 752
2907	Racines Amylacées	3 480	375	400	186	352	1 270	6 063	2 590	1 566	13	7 074
2908	Cultures Sucrières			27 456	6 277			33 733	1	2		33 732
2909	Sucre & Edulcorants	2 386	58	0	1 517			3 962	2 683	1 186	-103	5 562
2911	Légumineuses Sèches	116	465			39	3	624	556	107	0	1 073
2912	Fruit Coque	244					1	245	62	258	0	49
2913	Cultures oléagineuses	175	732	5 438	98	23	56	6 522	2 169	1 715	67	6 908
2914	Huiles végétales	1 323		0	1 859			3 118	1 132	2 042	-156	2 364
2918	Légumes	6 412	108	0			1 013	7 532	1 861	3 748	18	5 627
2919	Fruits - Exclu Vin	7 150		6 857			492	14 490	2 139	7 584	-11	9 056
2922	Stimulants	620		0				620	375	995		
2923	Épices	20						20	12	32	0	
2924	Boissons Alcooliques	5 286		1 060	674		49	7 069	2 793	1 625	150	8 087
2943	Viande	5 590		74	31			5 695	1 617	1 577	0	5 735
2945	Abats	429			0			429	154	97	0	485
2946	Graisses animales	1 019	6	41	51			1 111	641	419	2	1 330
2948	Lait - Exclu Beurre	15 673	2 181	0	579		31	18 465	9 341	3 269	8	24 529
2949	Œufs	855			12	73	8	942	111	159	0	893
2960	Poisson & Fruits de Mer	2 154	11		1			2 166	607	2 073	19	681
2961	Produits Aquatiques, Autres	12			43			55	7	33	0	29

- Détail du bilan d'approvisionnement pour les principales denrées agricoles, moyenne 2008-2012.

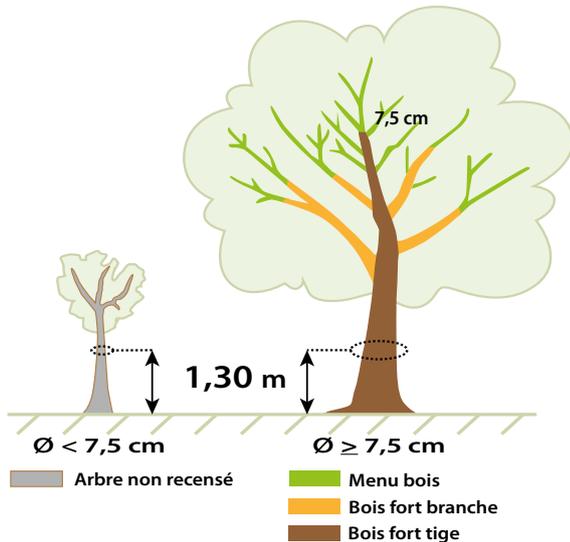
Tous les flux peuvent faire l'objet d'un bilan emplois – ressources : par exemple les flux d'énergie, d'azote, de protéines, de gaz à effet de serre, etc.

La forêt et le bois

Unités, concepts et sources

Les unités de la comptabilité forestière

Les statistiques forestières sont pleines de pièges et on utilise différentes unités qu'il est nécessaire d'expliquer compte tenu de la grande confusion qui règne en la matière.



- Les compartiments de la biomasse forestière aérienne.

Bois fort tige : le bois est généralement comptabilisé dans les statistiques en « bois fort tige ». Le Bois fort tige est le volume du tronc (la tige) jusqu'à la découpe de 7 cm de diamètre, de tous les arbres « recrutables », c'est à dire dont le diamètre à 1,30 m du sol est supérieur à 7,5 cm. C'est le bois fort tige qui est évalué par l'IGN lors de ses inventaires, à partir des caractéristiques des arbres présents : on mesure le diamètre de l'arbre à une certaine hauteur du sol, et des tables de cubature par essence permettent d'estimer le volume du BFT.

Bois fort branche : le bois fort branche est le volume des branches jusqu'à la découpe de 7 cm.

Bois fort total : le bois fort total est l'addition du bois fort tige et du bois fort branche.

Menu bois (MB) : le menu bois comprend toutes les fins de tige ou de branche dont le diamètre est inférieur à 7 cm.

Bois aérien total : pour obtenir le bois aérien total, c'est-à-dire la biomasse ligno-cellulosique aérienne, non compris les feuilles et les racines, on tient compte de coefficients appelés « facteurs d'expansion des branches » (qui permet de calculer le volume du houppier, également rapporté en m³, à partir du volume du tronc). Le FEB est en moyenne de 1,61 pour la forêt feuillue française et de 1,335 pour la forêt résineuse, soit 1,5 en moyenne environ. Le FEB est estimé pour chaque essence, à partir de programmes de recherche¹²¹.

Bois total : il comprend également les racines. Comme pour le houppier, on utilise un facteur d'expansion des racines pour estimer le volume de celles-ci à partir du volume du bois fort tige. Il est d'environ 1,3.

Biomasse forestière totale et carbone : la biomasse forestière comprend non seulement le bois, aérien et racinaire, mais également la strate arbustive et herbacée et la litière.

Principaux concepts

Production biologique annuelle : la production biologique est la masse de matière fixée par photosynthèse dans l'année. On distingue la production brute et la production nette, déduction faite de la mortalité.

Prélèvements annuels : les prélèvements désignent la quantité de bois obtenue, tous usages confondus, que l'on classe entre bois d'œuvre, bois d'industrie et bois énergie. Ce sont ces volumes qui sont estimés, soit à partir de l'EAB (enquête annuelle de branche), soit par d'autres méthodes lorsqu'il s'agit de circuits hors EAB. Leur addition donne les prélèvements nets. Les prélèvements bruts incluent les pertes de masse, de l'ordre de 10 % des prélèvements.

Taux de prélèvement : il s'agit des prélèvements rapportés à la production biologique annuelle. Il s'agit d'un indicateur de durabilité de l'exploitation forestière : à l'échelle d'un massif, le taux de prélèvement sur le long terme doit rester inférieur à la production biologique annuelle si l'on ne veut pas le décapitaliser.

Disponibilité : la disponibilité, ou encore potentiel de récolte, tient compte de la production biologique annuelle nette cumulée entre deux dates de récolte. En agriculture, la disponibilité des cultures annuelles est de 100 % de la production biologique, mais en sylviculture le cycle n'est pas annuel et il est nécessaire de raisonner sur une plus longue durée. La disponibilité est une notion qui dépend des objectifs de la sylviculture : elle est différente si l'objectif est de produire du bois d'œuvre sur une longue durée (100 ans en chênaie) ou du bois d'industrie sur des cycles plus courts (20 ans en peupleraie, 7 ans pour les taillis voire 3 à 5 ans pour les TCR, taillis à courte rotation). On parle de disponibilité brute pour estimer le potentiel de récolte physique, et de disponibilité nette lorsque l'on tient compte de différents facteurs : critères environnementaux, technico-économiques, sociétaux (forêts de protection).

Les principales sources de la statistique forestière française

Les statistiques forestières sont établies en France par l'IGN¹²², 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 statistiques¹²³.

Les travaux les plus récents et les plus aboutis sont présentés dans l'étude « Disponibilités forestières pour l'énergie et les matériaux à l'horizon 2035 », réalisée par l'IGN et le FCBA pour le compte de l'ADEME. Cette étude évalue les disponibilités nettes à l'horizon 2035, en tenant compte des critères environnementaux¹²⁴ et technico-économiques. Elle simule notamment deux scénarios de sylviculture, un scénario conservateur ou tendanciel, et un scénario dynamique progressif.

¹²¹ Résultats du programme CARBOFOR, Séquestration de Carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France. Quantification, spatialisation, vulnérabilité et impacts de différents scénarios climatiques et sylvicoles. Rapport final, 2004. Coordonné par D. Loustau, INRA. Voir également le Programme ANR EMERGE pour le menu bois.

¹²² L'IGN a absorbé l'institut forestier national.

¹²³ Voir le Rapport de la mission d'expertise sur les méthodes de l'IFN, Charles Dereix, Jean-Jacques Lafitte, Jean-Pierre Puig, Juillet 2011.

¹²⁴ Limitation des prélèvements en menu bois, riches en nutriments, pour les sols les plus fragiles.

Cette étude fait suite à la série de travaux initiés en 2005, les premiers à avoir posé la question d'ensemble de la disponibilité en ressources autres que bois d'œuvre ou bois d'industrie¹²⁵. Elle actualise également plusieurs études précédentes: notamment les travaux menés par l'IGN et l'IRSTEA¹²⁶, ou ceux réalisés avec le CITEPA pour le compte de la DGEC sur le stockage du carbone en forêt, avec de nouveaux scénarios sylvicoles¹²⁷.

De la date de publication des différents travaux de l'IGN dépend la méthodologie employée, toutes les données ne sont donc pas comparables.

Pour s'y retrouver dans le maquis des statistiques nationales

Les prélèvements estimés par l'IGN sont de 41 Mm³ de bois fort tige, de 48 Mm³ de bois fort total, et de 53 Mm³ de bois total, incluant 5 Mm³ de menu bois. Ce à quoi il faut ajouter environ 10% de pertes d'exploitation, ce qui donne une estimation de 58 Mm³. En raisonnant en flux physiques, on compare des flux similaires. Le taux de prélèvement par compartiment, incluant les pertes, varie entre 50 % pour le BFT à 43 % pour le bois aérien total. L'étude IGN-FCBA indique un taux de prélèvement de 55%, mais il s'agit ici du rapport entre le bois fort total prélevé (48 Mm³) et la production biologique en bois fort tige.

Mm ³ /an	Production biologique	Prélèvements (hors pertes)	Taux de prélèvement (y compris 10 % de pertes)
Bois fort tige	88-91	41	50 %
Bois fort total	119-125	48	43 %
Bois aérien total	132-137	53	43 %

- Production biologique et prélèvements en forêts, selon le compartiment.

La comptabilité carbone et gaz à effet de serre

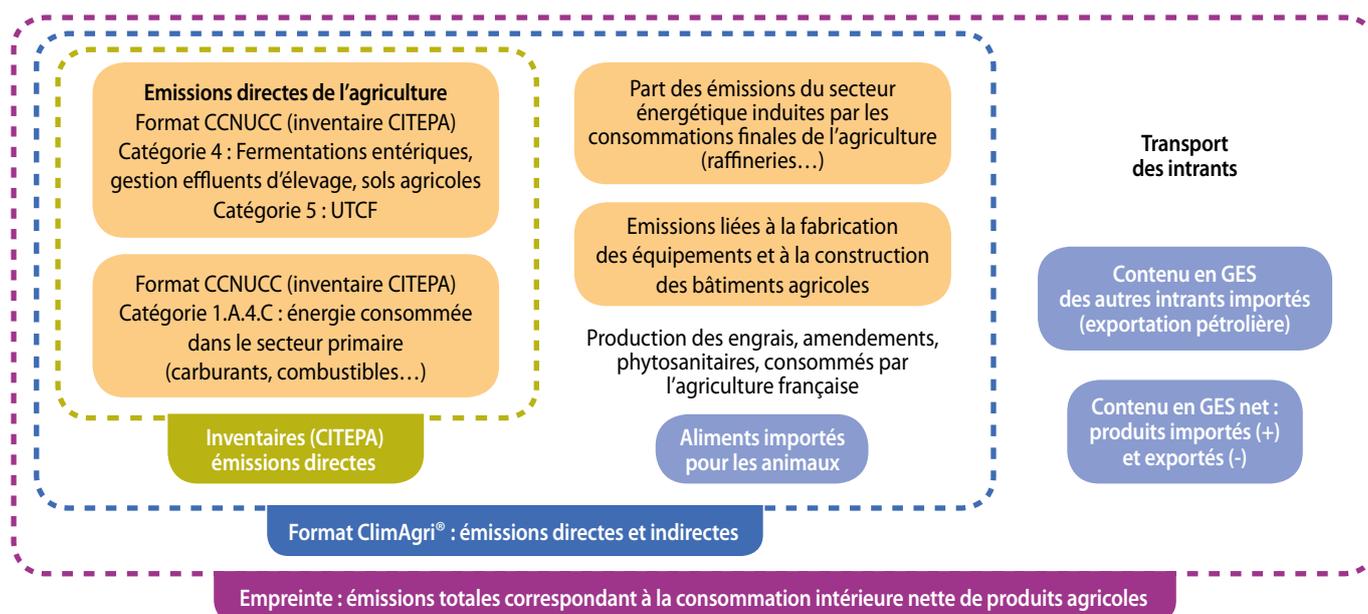
Emissions de gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre sont estimées au format ClimAgri[®]. Cet outil, conçu par Solagro pour le compte de l'ADEME, permet d'estimer les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture et de la forêt sur un territoire. Les émissions inventoriées sont les émissions directes et indirectes de l'agriculture et de la forêt.

Les émissions directes sont le méthane et le protoxyde d'azote générés par les phénomènes biologiques et naturels comme la fermentation entérique ou les processus de nitrification dans les sols. S'y ajoutent les émissions de gaz carbonique des tracteurs ou du chauffage des serres et bâtiments d'élevage. Les émissions indirectes, c'est-à-dire non émises par l'agriculture proprement dite, sont dues

à la fabrication des intrants (engrais, aliments du bétail importés, etc.) ainsi qu'aux émissions liées à la construction des bâtiments et des engins agricoles (énergie grise).

Le CITEPA dresse régulièrement l'inventaire des émissions de GES, selon le format de la CCNUCC, la convention cadre des Nations Unies pour le changement climatique¹²⁸, utilisé pour dresser des comparaisons internationales et permettre de vérifier si les pays tiennent leurs engagements dans la lutte contre le changement climatique. L'agriculture est comptabilisée dans la catégorie 4, il s'agit ici uniquement des émissions agricoles au sens strict. Les émissions de gaz carbonique dues à l'usage des énergies fossiles en agriculture sont comptées dans une autre catégorie (1.A.4.C).



- Les différents périmètres de la comptabilité GES.

¹²⁵ Solagro avait participé aux premiers travaux : voir Colin A., Thivolle-Cazat A., Coulon F., Barnérias C., Couturier C. 2009 Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020.

¹²⁶ Ginisty C., Vallet P., Chevalier H., Colin A. 2011. Disponibilité en biomasse ligneuse en forêt, dans les peupliers et dans les haies pour les différents usages du bois.

¹²⁷ Colin A. 2014 Emissions et absorptions de gaz à effet de serre liées au secteur forestier.

¹²⁸ UNFCCC pour l'acronyme anglais.

Concernant la fabrication des engrais, ne sont comptées que les émissions dues à leur production sur le territoire national, alors que ClimAgri® compte également les émissions liées à la fabrication des engrais importés.

Hormis ces différences de périmètre, les comptabilités selon le format ClimAgri® et CCNUCC obéissent à une logique similaire : on compte les tonnes d'engrais, les litres de fioul, le nombre de vaches, et l'on applique des facteurs d'émission. Facteurs discutés et validés par des groupes d'experts et régulièrement remis à jour.

Compter le carbone

Aux émissions de gaz à effet de serre s'ajoutent les absorptions de gaz carbonique dans les sols et la biomasse : celles-ci sont comptées en puits de carbone ou en sources selon que le stock augmente ou diminue. Cet effet puits ou source dépend des variations des usages des terres ainsi que de l'évolution de la biomasse forestière : c'est la catégorie 5, ou UTCF¹²⁹. Ce poste est comptabilisé aussi bien dans le format CCNUCC que dans le format ClimAgri®. On compte donc le stockage de carbone du à la conversion de prairies en forêt, le stockage de carbone de la forêt restant forêt, et le déstockage de carbone de la forêt convertie en prairie. A noter que la méthodologie utilisée par le CITEPA ne comptabilise pas le stockage de carbone dans les prairies restant prairies, à la différence de ClimAgri®.

Il serait nécessaire également de comptabiliser le stockage de carbone dans les produits biosourcés, notamment dans les matériaux de construction durables. Pour cela il faut connaître la variation des stocks de ces produits biosourcés, or il existe une forte incertitude sur leur durée de vie.

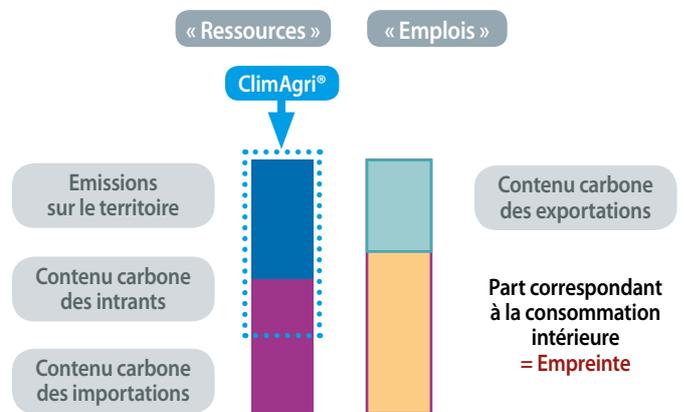
On ne comptabilise pas ici les émissions évitées de CO₂ liées à la substitution d'énergies fossiles par des bioénergies. L'exercice s'arrête en effet aux limites de la ferme : les bioénergies sont admises comme étant neutres en carbone sur un cycle court, de l'ordre de l'année, car le stock de carbone dans les bioénergies n'augmente pas et ne diminue pas. Le bénéfice de la substitution énergétique est comptabilisé dans le scénario négaWatt.

Empreinte carbone et émissions territoriales

L'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre n'est pas tant de diminuer nos émissions, au sens strict, que de diminuer notre empreinte. La différence provient de la prise en compte des importations et des exportations. Un bilan carbone obéit en effet aux mêmes règles comptables que tout bilan ressources / emplois. Notre empreinte, c'est-

à-dire les émissions liées à notre consommation, est égale aux émissions de notre production et de nos importations (ressources), déduction faite de nos exportations. Le raisonnement en empreinte permet d'éviter des biais de comparaison : il serait en effet possible de réduire les émissions de GES en réduisant les exportations, auquel cas ces dernières doivent être compensées par une augmentation de production ailleurs, toutes choses égales par ailleurs, ce qui ne serait alors qu'un simple transfert et non une réelle diminution. Le format ClimAgri® prend en compte le contenu carbone des intrants agricoles. Pour connaître l'empreinte de notre consommation de produits agricoles, il faut y ajouter le contenu carbone des produits alimentaires importés (fruits, légumes, produits tropicaux) et déduire celui des exportations (lait, céréales).

Pour effectuer ce calcul, nous avons utilisé des facteurs d'émission des produits agricoles issus des bases de données telles que AgriBalyse® (principalement pour les productions françaises) et Ecoinvent (pour les importations). Ces facteurs d'émission, surtout pour les importations, peuvent être très variables selon les publications. L'empreinte carbone calculée en utilisant ces facteurs d'émission a été comparée aux émissions calculées selon ClimAgri®, en veillant à ce que les périmètres de calcul soient comparables. L'écart entre les deux méthodes s'est avéré très faible, de quelques pourcents. On peut donc estimer que ces facteurs d'émission sont utilisables pour évaluer de contenu carbone des exportations et importations, et effectuer ainsi le calcul de l'empreinte.



- Principe de calcul de l'empreinte GES.

¹²⁹ Usage des Terres, leur Changement, et la Forêt. LULUCF pour l'acronyme anglais.

Systemes et pratiques agricoles : definitions

Systemes et pratiques agricoles

Le **systeme agricole** qualifie le choix d'organisation de la production agricole d'une exploitation : nature, nombre et articulation des productions végétales 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'investissements. D'autres considérations complètent la notion de système agricole, comme la prise en compte des espaces naturels, du paysage et du territoire. Il existe de nombreuses formes d'agriculture : du conventionnel à la permaculture en passant par l'agriculture biologique, de conservation ou intégrée. 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 précis 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.

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.

De quelles agricultures parle-t-on ?

Agriculture conventionnelle : (issu de l'anglais conventional farming) elle représente ici le modèle d'agriculture aujourd'hui dominant (90 % des surfaces cultivées). Elle se caractérise par le recours aux intrants de synthèse (fertilisants, phytosanitaires) et par des systèmes techniques et productifs adaptés à des objectifs de production élevés, dans un triple mouvement d'intensification, de spécialisation et de concentration.

Agriculture raisonnée : Elle pratique une lutte dite « raisonnée » contre les ravageurs des cultures ou autres pestes. On apporte toujours des produits chimiques de synthèse sur les parcelles mais que cet apport n'est plus systématique. Il est maîtrisé en fonction des besoins des cultures, selon des seuils de tolérance agronomique. Elle traduit une volonté d'amélioration de l'agriculture dominante, via une meilleure observation de l'environnement et une rationalisation des pratiques agricoles, sans remettre en cause les objectifs de production.

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 Viaux¹³⁰) 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 biologique¹³¹) en 1992. La production intégrée se situe dans la continuité des découvertes faites au début du XX^{ème} siècle autour de la lutte biologique intégrée (encore appelée protection intégrée) expérimentée dans les vergers californiens. A cette époque, la lutte chimique (insecticide), 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 : selon la FAO¹³², « 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 agro-écologiques. Elle est d'un grand intérêt pour les petites exploitations ; celles dont les moyens de production limités ne permettent pas de lever la forte contrainte de temps et de main d'œuvre constituent une cible prioritaire. C'est un moyen de concilier production agricole, amélioration des conditions de vie et protection de l'environnement. L'Agriculture de Conservation est mise en œuvre avec succès par différents types de systèmes de production et dans une diversité de zones agro-écologiques. 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, et 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.

¹³⁰ Cf. Systèmes intégrés : une troisième voie en grandes cultures – 2^{ème} édition – Editions France Agricole.

¹³¹ www.iobc-wprs.org

¹³² <http://www.fao.org/ag/ca/fr/index.html>

Agroécologie : le terme d'agroécologie recouvre des concepts très variés. Miguel Altieri¹³³, chercheur de l'Université de Berkeley a été un des pionniers de cette discipline et en a proposé une définition dès 1995.

Le CIRAD¹³⁴ la définit comme un système strictement agronomique : il s'agit de « systèmes de culture attractifs, rentables, protecteurs de l'environnement et durables... créés pour être vulgarisés à grande échelle, basés sur le semis direct sur couverture végétale permanente (SCV). Dans ces systèmes, le sol n'est jamais travaillé et une couverture morte ou vivante est maintenue en permanence. Les pailles proviennent des résidus de cultures, de cultures intercalaires ou de cultures dérobées utilisées comme « pompes biologiques ». Ces plantes ont des systèmes racinaires puissants et profonds et peuvent recycler les nutriments des horizons profonds vers la surface, où ils peuvent être utilisés par les cultures principales. Ils produisent aussi rapidement une importante biomasse et peuvent se développer en conditions difficiles comme durant les saisons sèches, sur des sols compactés, et sous une forte pression des adventices ».

Pierre Rahbi¹³⁵ en donne une définition incluant des éléments socio-économiques : l'agroécologie est une démarche « inspirée des lois de la nature. Elle considère que la pratique agricole ne doit pas se cantonner à une technique, mais envisager l'ensemble du milieu dans lequel elle s'inscrit avec une véritable écologie. Elle intègre la dimension de la gestion de l'eau, du reboisement, de la lutte contre l'érosion, de la biodiversité, du réchauffement climatique, du système économique et social, de la relation de l'humain avec son environnement... ».

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, 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 ». FNAB¹³⁶ (Fédération nationale d'agriculture biologique).

Rotation : Ordre de succession, sur la même parcelle, de plantes appartenant à des espèces ou à des variétés différentes et éventuellement de jachères, cette succession se répétant régulièrement dans le temps.

Assolement : Répartition dans l'espace sur un cycle donné des cultures d'une exploitation agricole entre les différentes cultures.

Cultures intermédiaires : Implantés entre deux cultures principales, les couverts ou cultures intermédiaires sont valorisables de plusieurs façons : récoltées (en vert) sous forme d'ensilage, récoltées sous forme de fourrage, ou laissées au sol pour assurer une fonction d'engrais vert. Les cultures intermédiaires limitent l'érosion des sols – il n'y a pas de sol nu – et le lessivage de l'azote. Les CIPAN (cultures intermédiaires piège à nitrates) en sont des variantes, tout comme les CIVE (culture intermédiaire à vocation énergétique), ou encore les CIMSE (cultures intermédiaires multiservices environnementaux).

Cultures associées : Autrefois très utilisées, notamment par les éleveurs, les cultures associées - appelées aussi méteils - mélangent le plus souvent des graminées et des légumineuses à graines (ex. blé-pois) sans qu'elles soient nécessairement semées et récoltées en même temps. Elles servent à produire des concentrés (riche en énergie et en protéines) pour les animaux. Mais elles peuvent également être triées et utilisées pour l'alimentation humaine.

Infrastructures agroécologiques : « Les IAE correspondent à des habitats semi-naturels qui ne reçoivent ni fertilisants chimiques, ni pesticides et qui sont gérés de manière extensive. Il s'agit de certaines prairies permanentes, d'estives, de landes, de haies, d'arbres isolés, de lisières de bois, de bandes enherbées le long des cours d'eau ou de bordures de champs ainsi que des jachères, des terrasses et murets, de mares et de fossés et d'autres particularités. Essentielles pour l'environnement, elles contribuent à la préservation de la biodiversité, au cycle et à la qualité de l'eau ainsi qu'au stockage de carbone. En tant qu'habitats des pollinisateurs et d'autres espèces qualifiées d'auxiliaires des cultures, les IAE présentent également un grand intérêt pour l'agriculture et permettent une réduction de l'utilisation des pesticides. Au travers de la préservation et de la restauration des continuités écologiques entre les milieux naturels, les IAE sont un élément incontournable pour créer la trame verte et bleue (TVB) ». CGDD¹³⁷.

¹³³ L'agroécologie : bases scientifiques d'une agriculture alternative. Editions Debard. 1994

¹³⁴ <http://agroecologie.cirad.fr/>

¹³⁵ <http://www.fondationpierrerahbi.org/agroecologie-abcdaire.php>

¹³⁶ <http://www.fnab.org>

¹³⁷ CGDD, « Le point sur... » n°145, Octobre 2012,

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-infrastructures.html>

Tableaux complémentaires



Tableaux complémentaires

Pertes et gaspillages, en kg par personne et par an	Production agricole	Opérations après récolte et stockage	Transformation et conditionnement	Distribution et vente au détail	Consommation	TOTAL
Céréales	2	4	4	1	18	29
Racines et tubercules	16	7	10	2	9	44
Oléagineux et protéagineux	4	0	2	0	1	7
Fruits et légumes	52	12	4	10	35	14
Viande	4	1	6	2	11	24
Lait	11	2	3	1	16	33
Produits de la mer	4	0	2	1	2	10
Ensemble	93	26	31	18	93	260
Répartition	36 %		29 %		36 %	100 %

- Pertes par catégorie de produit et par stade. (page : 10)

Solde exportateur par principaux groupes de produits et de pays, FAO, valeurs 2011	Afrique du Nord, Proche Orient	Afrique Subsaharienne	Amériques	Asie, Océanie	Europe	TOTAL
Céréales	10 100	2 700	700	1 300	18 400	33 200
Produits laitiers	100	100	0	200	1 400	1 900
Boissons alcooliques	0	0	300	400	100	700
Sucre	100	0	-100	100	1 200	1 300
Légumes	-500	0	0	-100	-900	-1 400
Stimulants	0	-200	-100	0	-400	-700
Graisses animales (beurre)	0	0	0	0	300	300
Fruits	0	-300	-200	0	-2 100	-2 600
Huiles	0	0	-300	-300	300	-400
Plantes oléifères	0	0	-700	-100	1 000	200
Pommes de terre	0	0	0	0	1 300	1 400
Légumineuses	200	0	0	0	300	500
Viande, abats	0	100	0	500	-300	300
Œufs	0	0	0	0	0	0
Tourteaux	100	0	-2 400	-200	-1 200	-3 800
Total, milliers de tonnes	10 000	2 300	-2 800	1 800	19 400	30 800
Valeur énergétique du solde exportateur (PJ)	140	35	-30	24	260	420
Poids dans le total des exportations françaises	33 %	7 %	-7 %	5 %	62 %	100 %

- Solde exportateur (exportations moins importations) par catégorie de produits et par région – milliers de tonnes par an. (page : 14)

Emissions de CO ₂ par an Millions de tonnes / ha		Nouvelle affectation					TOTAL
		Forêt	Prairie	Terres arables	Surfaces artificialisées	Autres	
Ancienne affectation	Forêt	-59	+2	+3	+6	0	-48
	Prairie	-5	/ ⁴³	+17	+5	-1	+17
	Terres arables	-2	-12	0	+1	-1	-13
	Surfaces artificialisées	-1	-2	0	0	-1	-4
	Autres	0	+1	0	0	0	+1
TOTAL		-66	-11	+21	+13	-2	-47

- Emissions de CO₂ par type d'espace et lors des changements d'affectation (valeurs 2013 - Source CITEPA 2015). (page : 21)

		Milliers d'hectares (2014)
Forêts	Feuillus	9 280
	Résineux	3 210
	Mixte	2 580
Peupleraies		190
Surfaces boisées hors forêt	Bosquets hors peupleraies	770
	Haies et alignements d'arbres	950
TOTAL		17 030

- Les surfaces boisées en France (milliers d'hectares en 2014 - source TERUTI). (page : 41)



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 30 salariés dont 20 ingénieurs en agronomie, énergétique, économie, écologie.

Elle imagine, promeut et accompagne les transitions énergétiques, agricole, et alimentaire avec :

- 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,
- 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, en France et dans de nombreux pays européens.

Son réseau d'adhérents est 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
mél : solagro@solagro.asso.fr

www.solagro.org
www.afterres2050.solagro.org

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

Couverture :
Extraits des posters « La Campagne des Paysages d'Afterres2050 »
réalisés par l'Agence INITIAL Paysagistes, à la demande du collectif Paysages de l'Après-Pétrole
et financés par l'Agence de l'eau Seine-Normandie

Décembre 2016
© Solagro



Afterres2050

Peut-on à la fois nourrir les hommes, lutter contre le changement climatique, améliorer le revenu des agriculteurs, restaurer les écosystèmes, fournir de nouvelles productions et de nouveaux services, intégrer le bien être animal, garantir la qualité des produits, améliorer la santé des consommateurs, offrir saveurs, terroirs et paysages ? le tout en solidarité avec le reste du monde. La liste est longue des injonctions souvent contradictoires adressées à l'agriculture.

Le scénario Afterres2050, exercice de prospective portant sur le système alimentaire français - du champ à l'assiette - permet de poser, les bases physiques - limites et possibilités - du débat à ouvrir.

Depuis la parution de la première version du scénario en 2011, le choix de la transparence a été fait. La nouvelle version présentée ici, enrichie et consolidée par les travaux menés avec les acteurs de plusieurs régions, n'y déroge pas. Toutes les hypothèses, les indicateurs, les arbitrages que nous avons posés sont argumentés, documentés pour que le grand mécano construit ne reste pas une boîte noire et puisse être utilisé pour tester des hypothèses différentes.

La présentation de deux variantes et d'un scénario tendanciel permet d'ailleurs, d'ores et déjà, de mieux mesurer l'impact de certains choix et nous éclaire sur les évolutions quasi inéluctables de notre agriculture.

Afterres2050 dessine un avenir soutenable et possible avec les cartes que nous avons déjà en main, pourvu que l'ensemble des parties prenantes - des consommateurs aux agriculteurs - les joue en cohérence, dans un cadre qui reste à co-construire pour un nouveau contrat entre agriculture et société.