

Juin 2017
volume n°7 / numéro n°1
www.agronomie.asso.fr

Agronomie

environnement & sociétés



La revue de l'association française d'agronomie

Nutrition et agronomie

ASSOCIATION FRANÇAISE
AGRONOMIE

Agronomie, Environnement & Sociétés

Revue éditée par l'Association française d'agronomie (Afa)

Siège : 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05.

Secrétariat : 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 2.

Contact : afa@supagro.fr, T : (00-33)4 99 61 26 42, F : (00-33)4 99 61 29 45

Site Internet : <http://www.agronomie.asso.fr>

Objectif

AE&S est une revue en ligne à comité de lecture et en accès libre destinée à alimenter les débats sur des thèmes clefs pour l'agriculture et l'agronomie, qui publie différents types d'articles (scientifiques sur des états des connaissances, des lieux, des études de cas, etc.) mais aussi des contributions plus en prise avec un contexte immédiat (débats, entretiens, témoignages, points de vue, controverses) ainsi que des actualités sur la discipline agronomique.

ISSN 1775-4240

Contenu sous licence Creative commons



Les articles sont publiés sous la *licence Creative Commons 2.0*. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

Directeur de la publication

Marc BENOÎT, président de l'Afa, Directeur de recherches, Inra

Rédacteur en chef

Olivier RÉCHAUCHÈRE, chargé d'études Direction de l'Expertise, Prospective & Etudes, Inra

Membres du bureau éditorial

Pierre-Yves LE GAL, chercheur Cirad

Hervé SAINT MACARY, directeur adjoint du département Persyst, Cirad

Philippe PRÉVOST, directeur Agreenium Université en ligne

Danielle LANQUETUIT, consultante Triog et webmaster Afa

Comité de rédaction

- Marc BENOÎT, directeur de recherches Inra

- Valentin BEAUVAL, agriculteur

- Jacques CANEILL, directeur de recherches Inra

- Gérard CATTIN, retraité de la chambre d'agriculture de la Marne

- Joël COTTART, agriculteur

- Thierry DORÉ, professeur d'agronomie AgroParisTech

- Sarah FEUILLETTE, cheffe du Service Prévision Evaluation et Prospective Agence de l'Eau Seine-Normandie

- Yves FRANCOIS, agriculteur

- Jean-Jacques GAILLETON, inspecteur d'agronomie de l'enseignement technique agricole

- François KOCKMANN, chef du service agriculture-environnement Chambre d'agriculture 71

- Marie-Hélène JEUFFROY, directrice de recherche Inra et agricultrice

- Aude JOMIER, enseignante d'agronomie au lycée agricole de Montpellier

- Christine LECLERCQ, professeure d'agronomie Institut Lassalle-Beauvais

- Francis MACARY, ingénieur de recherches Irstea

- Adeline MICHEL, Ingénieure du service agronomie du Centre d'économie rurale de la Manche

- Marc MIQUEL, consultant

- Bertrand OMON, Chambre d'agriculture de l'Eure

- Thierry PAPILLON, enseignant au lycée agricole de Laval

- Philippe POINTEREAU, directeur du pôle agro-environnement à Solagro

- Philippe PRÉVOST, directeur Agreenium Université en Ligne

- Guy TREBUIL, Cirad

Secrétaire de rédaction

Philippe PREVOST

Assistantes éditoriales

Sophie DOUHAIRIE et Danielle LANQUETUIT

Conditions d'abonnement

Les numéros d'AE&S sont principalement diffusés en ligne. La diffusion papier n'est réalisée qu'en direction des adhérents de l'Afa ayant acquitté un supplément (voir conditions à <http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>)

Périodicité

Semestrielle, numéros paraissant en juin et décembre

Archivage

Tous les numéros sont accessibles à l'adresse <http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/>

Soutien à la revue

- En adhérant à l'Afa via le site Internet de l'association (<http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>). Les adhérents peuvent être invités pour la relecture d'articles.
- En informant votre entourage au sujet de la revue AE&S, en disséminant son URL auprès de vos collègues et étudiants.
- En contactant la bibliothèque de votre institution pour vous assurer que la revue AE&S y est connue.
- Si vous avez produit un texte intéressant traitant de l'agronomie, en le soumettant à la revue. En pensant aussi à la revue AE&S pour la publication d'un numéro spécial suite à une conférence agronomique dans laquelle vous êtes impliqué.

Instructions aux auteurs

Si vous êtes intéressé(e) par la soumission d'un manuscrit à la revue AE&S, les recommandations aux auteurs sont disponibles à l'adresse suivante :

<http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/pour-les-auteurs/>

À propos de l'Afa

L'Afa a été créée pour faire en sorte que se constitue en France une véritable communauté scientifique et technique autour de cette discipline, par-delà la diversité des métiers et appartenances professionnelles des agronomes ou personnes s'intéressant à l'agronomie. Pour l'Afa, le terme agronomie désigne une discipline scientifique et technologique dont le champ est bien délimité, comme l'illustre cette définition courante : « *Etude scientifique des relations entre les plantes cultivées, le milieu [envisagé sous ses aspects physiques, chimiques et biologiques] et les techniques agricoles* ». Ainsi considérée, l'agronomie est l'une des disciplines concourant à l'étude des questions en rapport avec l'agriculture (dont l'ensemble correspond à l'agronomie au sens large). Plus qu'une société savante, l'Afa veut être avant tout un carrefour interprofessionnel, lieu d'échanges et de débats. Elle se donne deux finalités principales : (i) développer le recours aux concepts, méthodes et techniques de l'agronomie pour appréhender et résoudre les problèmes d'alimentation, d'environnement et de développement durable, aux différentes échelles où ils se posent, de la parcelle à la planète ; (ii) contribuer à ce que l'agronomie évolue en prenant en compte les nouveaux enjeux sociétaux, en intégrant les acquis scientifiques et technologiques, et en s'adaptant à l'évolution des métiers d'agronomes.

Lisez et faites lire AE&S !

Sommaire

Avant-propos

P7 - O. RÉCHAUCHÈRE (Rédacteur en chef) et M. BENOÎT (Président de l'Afa)

Éditorial

P9 - S. AVALLONE, M. BENOIT, M. DURU, D. LAIRON et N. ZAKHIA-ROZIS (coordonnateurs du numéro)

Le contexte : recommandations et besoins nutritionnels, comportement des consommateurs

P13 - Consommations alimentaires et attitudes des consommateurs en France : concilier des motivations multiples
J.L. VOLATIER

P19 - Le programme national nutrition santé (PNNS) pour une meilleure alimentation et un meilleur état nutritionnel
S. HERCBERG et C. JULIA

P27 - Les protéines végétales pour l'alimentation humaine
J.M. CHARDIGNY

P33 - La restauration collective et enjeux de santé publique
M. BORDMANN et M.L. HUC

P39 - Quelles priorités pour la sécurité alimentaire et nutritionnelle dans les objectifs du développement durable (ODD) ?
A. BILLAND

Le diagnostic : l'effet des process de production et de transformation des produits sur la qualité nutritionnelle et sanitaire des aliments

P43 - Qualité nutritionnelle des produits végétaux : le cas des fruits et légumes
M.J. AMIOT-CARLIN et S. GEORGÉ

P51 - L'alimentation : enjeux et complexité
D. MAJOU

P57 - Produits ultra-transformés versus aliments complexes
A. FARDET

La « commande nutritionnelle » : concevoir les systèmes de production et de transformation des aliments à partir d'une préoccupation nutritionnelle

P69 - L'expérience du programme FAO/PNUE pour des systèmes alimentaires durables
A. MEYBECK et V. GITZ

P75 - Alimentation humaine : satisfaction des besoins nutritionnels et enjeux de durabilité
D. LAIRON

P83 - Pour une « santé globale » : une analyse multidimensionnelle du concept de santé pour accompagner les transitions agricoles et alimentaires appliquées aux légumineuses

M. DURU, E. JUSTES, G. FALCONNIER, E.P. JOURNET, P. TRIBOULET, M.B. MAGRINI

P97 - Des effets santé des phytomicronutriments à l'écoconception des systèmes agroalimentaires
C. DHUIQUE-MAYER et P. POUCHERET

P105 - Alimentation animale et santé humaine : quels défis à relever pour l'agronomie ?
M. DURU et M.B. MAGRINI

P115 - Utilisation du lin en alimentation animale : intérêt et conséquences sur la qualité nutritionnelle des produits animaux destinés à l'homme

J. MOUROT

P119 - A Mouans-Sartoux, une restauration collective issue intégralement de l'agriculture biologique depuis 2012
G. PEROLE

Annexe

P 125 - Appel à contribution du numéro

Alimentation animale et santé humaine : quels défis pour l'agronomie ?

Animal feeding and human health: what are the challenges for agronomy?

Michel DURU* - Marie-Benoît MAGRINI*

*INRA, UMR 1248 AGIR, F-31326 Castanet Tolosan, France
Université Toulouse, INPT, UMR AGIR, F-31029 Toulouse, France - Contact : E-mail : mduru@inra.fr

Résumé

De nombreux travaux mettent en relation l'augmentation du nombre de maladies chroniques dans les pays occidentaux avec l'évolution de notre régime alimentaire dont les apports en acides gras poly-insaturés (AGPI). Les régimes actuels se caractérisent surtout par un fort déficit d'acide alpha-linolénique (ALA : famille des omégas 3) et un rapport LA/ALA (LA, acide linoléique : famille des omégas 6) bien trop élevé. Les principaux aliments pourvoyeurs en AGPI (produits animaux, huiles, poissons) peuvent être classés selon leurs teneurs en LA et ALA et selon que leur rapport est équilibrant (LA/ALA<4) ou déséquilibrant dans le cas contraire. La composition en AGPI des produits animaux est très variable selon leur alimentation. Dans le cas des ruminants, elle est équilibrante lorsque l'alimentation est à base d'herbe (éventuellement complétée par du tourteau de colza) et déséquilibrante pour une alimentation à base d'ensilage de maïs complétée par des tourteaux de soja. Ceci explique qu'en l'espace de 50 ans, la plupart des produits animaux soient passés d'une composition équilibrante à déséquilibrante. Pour viser une alimentation plus équilibrée entre AGPI, le scénario tendanciel (poursuite de la réduction des surfaces en prairies et développement de la filière de niche Bleu Blanc Cœur) est comparé à un scénario mettant l'accent sur l'autonomie en protéines des élevages et à deux scénarios visant une amélioration de la composition des produits animaux. Ces scénarios interrogent différemment l'agronomie :

- Le scénario « inflexion » vise à renforcer l'autonomie en protéines par le développement de protéagineux ; il invite les agronomes à re-complexifier les rotations, mais il ne permet pas d'augmenter l'apport d'ALA et de parvenir à un équilibre entre AGPI sauf à utiliser des compléments alimentaires ;
- Le scénario de « rupture », basé sur l'augmentation de la contribution des prairies et l'apport de lin, génère des questions sur les rotations et en particulier sur la fourniture de services écosystémiques par les prairies aux cultures ;
- Le scénario de « rupture forte » correspond à une réduction des protéines animales dans l'alimentation humaine où l'élevage est limité aux prairies et à l'utilisation de sous-produits de l'agro-industrie ; il y a donc place dans les assolements pour d'autres cultures, notamment les légumineuses.

Mots-clés

Colza ; maladies chroniques ; monogastriques ; oléoprotéagineux ; oméga-3 ; oméga-6 ; prairies ; ruminants ; soja.

Abstract

Numerous studies relate the increase in the number of chronic diseases in western countries with the evolution of our diet including intakes of polyunsaturated fatty acids (PUFA). The current diets are characterized mainly by a high deficiency of alpha-linolenic acid (ALA: omega-3 class) and a ratio LA / ALA (LA, linoleic acid: omega-6 class) far too high.

The main foods providers of PUFA (animal products, oils, fish) can be classified according to their LA and ALA contents and according to whether their ratio is balancing (LA / ALA <4) or unbalanced. The PUFA composition of animal products greatly depends on their diet. In the case of ruminants, it is balanced when the feed is based on grass (possibly supplemented by rapeseed cake) and unbalanced for a feed based on silage maize supplemented by soybean cake. This explains why in the space of 50 years most animal products have shifted from a balancing to a disequilibrating composition in PUFA. To meet a more balanced diet in AGPI, the trend scenario (further reduction of grassland areas and development of the Bleu Blanc Cœur niche) is compared with a scenario focusing on the farm autonomy for proteins and two scenarios aiming at improving the composition of animal products in AGPI. These three scenarios question agronomy differently:

- The "inflexion" scenario aims at reinforcing the autonomy in proteins by the development of protein crops; it invites agronomists to re-complexify rotations, but it does not allow to increase the ALA intake and to achieve a balance between AGPI, except to use food supplements;
- The "break" scenario, based on increased grassland and flaxseed, generates questions on rotations and in particular on the provision of ecosystem services from grasslands to crops;
- The "strong break" scenario corresponds to a reduction in animal protein in the human diet; so, livestock is limited to grassland and the use by-products; so there is room in farmland for other crops, including legumes.

Keywords

Rapeseed; chronic diseases ; monogastric; oilseeds; Omega-3 ; Omega-6; grasslands; ruminants; soybean ; cakes.

Introduction

Le nombre de maladies chroniques est en augmentation régulière dans les pays occidentaux depuis plusieurs décades (Gogus et Smith 2010). Plusieurs facteurs en sont à l'origine, en particulier, la sédentarité mais aussi l'alimentation. Plusieurs composantes de l'alimentation sont invoquées : excès de sucres rapides, de sels et de matières grasses, manque de micronutriments (Simopoulos et al., 2013), et trop de produits ultra-transformés (Fardet et Rock, 2015). Ici, nous nous limitons aux acides gras poly-insaturés (AGPI) dont l'ingestion est indispensable car non fabriqués par l'homme, mais dont les excès ou manques contribuent au développement des maladies chroniques (Patterson et al., 2012).

Deux familles d'AGPI sont à distinguer : les omégas 3, l'acide alpha-linolénique (ALA) et aussi les produits dérivés dont l'acide docosahexaénoïque (DHA) et l'acide eicosapentaénoïque (EPA) qui sont des omégas 3 à très longue chaîne, et les omégas 6 (acide linoléique LA principalement). Les principales sources d'AGPI sont les produits animaux, les huiles végétales et les poissons.

Il y a actuellement un consensus international sur les besoins des principaux AGPI. L'apport minimum physiologique est de 0,8 et 2% des apports énergétiques (AE) respectivement pour l'ALA et le LA (Anses, 2011), soit 1,8 g et 4,4 g par jour pour un apport énergétique de 2000 kcal. Les apports

recommandés ont été évalués à 1 et 4% des AE (Fig. 1). La FAO (2008) a fixé des apports adéquats, allant de 0,5 à 2% AE pour l'ALA et de 2 à 3 pour le LA. Les besoins en EPA sont estimés à 250 mg/j ; le consensus est moins net pour le DHA. Il est admis qu'un total de 500 mg/j pour ces deux AGPI est nécessaire pour satisfaire nos besoins. Le rapport LA/ALA est important à considérer compte tenu de la compétition entre les deux familles pour la synthèse et la disponibilité de l'EPA et du DHA, et ce dès lors que les apports en ALA, EPA et DHA ne sont pas satisfaits (Legrand, 2013). Pour cette raison, il est recommandé d'avoir un rapport LA/ALA inférieur à 4 (Anses 2011 ; Legrand, 2013), voire aussi proche de 3 (Benbrook et al., 2013), ou de 1 (Yang et al., 2016). Depuis le début des années 60 jusqu'au début des années 2000, les changements alimentaires dans les pays occidentaux (pays européens et aux USA) se sont traduits par une augmentation plus rapide de la consommation des oméga 6 que des oméga 3 (Aihaud et al., 2006). Le décalage entre les apports et les besoins s'est donc fortement accru au cours de cette période. Les apports moyens d'ALA et de LA sont estimés respectivement à 0,9g/j et 8,5-10,5g/jour par des méthodes basées sur des mesures de consommation (Anses, 2015 ; Ferry, com pers) ; le rapport LA/ALA étant entre 9,5 et 11,5 (fig 1), donc très supérieur aux recommandations maximales. La dégradation de notre régime alimentaire du point de vue des AGPI au cours des dernières décennies provient principalement d'une augmentation de la consommation d'huiles, généralement pauvres en ALA et riches en LA, mais aussi du changement du mode d'alimentation de quasiment tous les animaux domestiques, ce qui impacte la composition de tous les produits : lait, viandes et œufs (Duru et Magrini, 2016). La caractérisation de notre assiette peut être faite en classant les aliments selon leurs apports en LA et ALA par unité de produit et selon qu'ils contribuent à l'équilibrer ou à la déséquilibrer, comme cela a été fait pour des repas types (Turner et al., 2011).

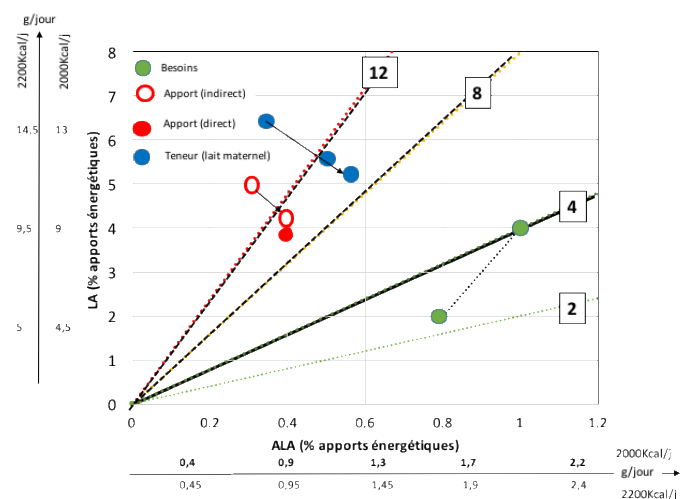


Figure 1 : Quantités de LA et ALA dans l'alimentation humaine : apports estimés à partir d'enquêtes auprès de consommateurs (méthode directe) ou à partir de bases de données portant sur les quantités produites (méthode indirecte), recommandations (les valeurs minimales correspondent aux besoins minimum physiologiques, et les valeurs maximales aux recommandations) exprimées en pourcentage des apports énergétiques et g/j selon deux niveaux d'apport de calories (les données du lait maternel sont exprimées en fonction de la teneur du lait en acide gras). Les flèches rouges et bleues traduisent l'évolution des valeurs entre 1996 et 2010. Les courbes en pointillées passant par l'origine correspondent à différents ratios LA/ALA (2, 4, 8, 12) ; les flèches indiquent les évolutions au cours du temps.

Au cours de la même période, les recherches cliniques et en épidémiologie ont permis de progresser fortement sur

l'impact santé des AGPI. Il est maintenant admis qu'ils ont des effets sur les systèmes cardiovasculaire et immunitaire, ainsi que sur le fonctionnement du cerveau (ex Molfino et al., 2014). Les dérivés des oméga-6 et oméga-3 sont des précurseurs de molécules qui ont des rôles importants dans la régulation de l'inflammation. En général, ceux dérivés des AGPI n-6 (acide arachidonique) sont pro-inflammatoires alors que ceux dérivés des AGPI n-3 (EPA, DHA) sont anti-inflammatoires. Ces études ont mis en rapport une diversité de maladies ayant une origine inflammatoire avec la composition en acides gras de l'alimentation, par des comparaisons de régimes alimentaires pour les études épidémiologiques, ou bien par l'étude d'un type d'aliment spécifique pour les essais cliniques chez le rat ou l'homme. La plupart montrent un effet sur toute une gamme de maladies, soit du fait d'un déficit en oméga-3, soit du fait d'un rapport oméga-6/oméga-3 trop élevé. Les travaux les plus anciens montrent un effet sur les maladies cardiovasculaires (Dawczynski et al., 2013) ; d'autres plus récents concernent les cancers (Gerber, 2012) et les dépressions (Kiecolt-Glaser et al., 2012). Il a aussi été mis en évidence un effet significatif de l'excès d'oméga-6 sur l'obésité (Aihaud et al., 2006). Plus récemment ont été examinés les impacts sur certaines maladies liées au fonctionnement du cerveau, la maladie de Parkinson (Bousquet et al., 2011), la maladie d'Alzheimer (Song et al., 2016) et la dégénérescence maculaire liée à l'âge. Il a aussi été montré un lien entre une carence en oméga-3 pendant le développement embryonnaire et la lactation, et le système immunitaire du cerveau et sa plasticité (Madore et al., 2014). Les études les plus récentes pointent l'importance du DHA et de l'EPA sur le développement de ces maladies (Calder, 2014), d'où l'importance d'apporter suffisamment de ALA tout en veillant à ce qu'il n'y ait pas trop de LA pour empêcher la production des dérivés EPA et DHA, ou bien alors d'apporter directement ces acides gras à très longue chaîne par l'alimentation, voire des compléments alimentaires par des produits enrichis en oméga 3 (Dawczynski et al., 2013).

Dans une première partie, nous synthétisons les connaissances de l'effet des régimes alimentaires des animaux sur la composition des produits en AGPI. Dans une seconde partie, nous caractérisons la composition des produits animaux à partir des systèmes d'alimentation classés selon leur composition en AGPI. Ensuite, nous mettons en parallèle les évolutions de ces systèmes d'alimentation et de l'utilisation des terres au cours des 50 dernières années. Dans une troisième partie, nous examinons les enjeux pour l'agronomie de trois scénarios de production animale se voulant vertueux pour la composition des produits, en évaluant l'impact sur l'utilisation des terres.

L'alimentation des animaux influe beaucoup sur la composition des produits en acides gras

Composition des aliments

Les matières premières utilisées pour l'alimentation des animaux ont des compositions en AGPI très différentes. Celles utilisées dans la ration de base ont de loin les valeurs en ALA les plus élevées pour l'herbe, sachant qu'il y a des variations importantes selon les espèces (valeurs plus élevées pour les légumineuses) et la saison (valeurs généralement plus élevées au printemps) (Elgersma, 2015 ; Farrugia et al., 2008). Les valeurs sont bien plus basses pour le maïs

ensilage et surtout grain et dans une moindre mesure pour le blé et l'orge (tableau 1).

Les aliments concentrés apportent aussi des AGPI par les huiles résiduelles contenues dans les tourteaux (autour de 2%) et par l'ajout d'huile dans les concentrés. Les teneurs des huiles en AGPI varient considérablement : la teneur en ALA est la plus élevée pour le colza et surtout le lin ; elle est la plus élevée en LA pour l'huile de palme et surtout le tournesol.

Matières premières	MG (g/kg)	LA (g/kg MG)	ALA (g/kg MG)	LA/ALA
Blé tendre	23	628	71	8,8
Maïs Grain	43	560	20	28,0
Orge	26	564	92	6,1
Maïs Ensilage	35	480	80	6,0
Herbe	18	135	590	0,2

Tableau 1 : Teneurs en LA et ALA des principaux aliments (fourrages, céréales et huiles) (adapté de Butler 2011)

Composition des produits animaux

Les aliments ingérés sont profondément transformés lors du passage dans l'appareil digestif, surtout dans le cas des ruminants. Chez les monogastriques, les AG longs de la ration sont absorbés au niveau de l'intestin sans avoir été métabolisés, de sorte qu'il y a une relation étroite entre la composition des AG ingérés et celle des AG absorbés (Raes et al., 2004). Chez les ruminants, au contraire, les AG insaturés sont très fortement hydrogénés et isomérisés dans le rumen. Il y a donc une grande différence entre la composition des AG ingérés et celle des AG absorbés, et les produits de ruminants contiennent une grande variété d'AG qui ne sont pas présents dans leur ration (Doreau et al., 2012). Néanmoins, la synthèse de nombreux essais d'alimentation montre que la hiérarchie des régimes quant à leur composition en AGPI est conservée dans la composition des produits : l'augmentation dans la ration d'aliments riches en ALA améliore la composition du produit (lait, viande, œuf) en ces AGPI, et il est en est de même pour les produits riches en LA.

Les produits animaux peuvent être classés en « équilibrants » ou « déséquilibrants » pour l'homme selon que le rapport LA/ALA est inférieur ou supérieur à 4, de même que les régimes alimentaires des animaux qui les sous-tendent.

Les travaux les plus nombreux portent sur le lait. Concernant la ration de base, il a été montré une relation décroissante entre le rapport LA/ALA du lait et la part d'herbe dans la ration (Hurtaud et al., 2010) ; la ration de base autre que l'herbe étant l'ensilage de maïs (fig 2). D'une manière générale, une alimentation à l'herbe est équilibrante (ratio \approx 2), alors qu'une ration à base d'ensilage de maïs est déséquilibrante (ratio \approx 8). Les huiles contenues dans les concentrés ou les huiles résiduelles des tourteaux peuvent réduire ou amplifier ces effets. Ainsi des vaches recevant un apport de lin en complément du maïs permet d'obtenir une teneur en ALA du lait similaire à celle d'une alimentation à l'herbe (fig. 2).

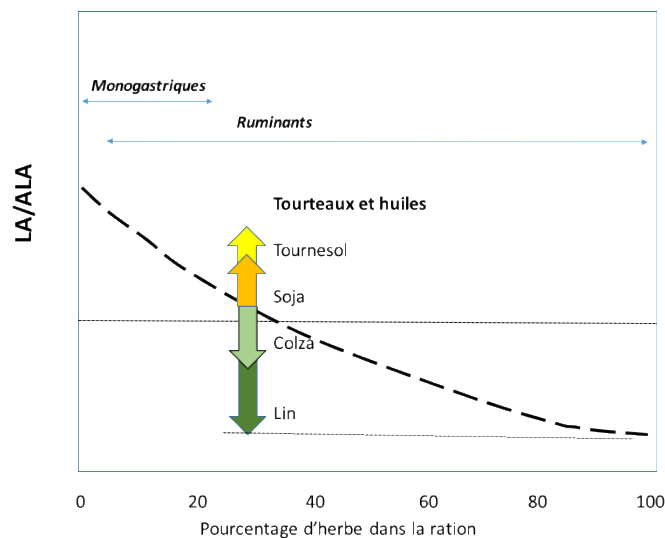


Figure 2 : relation entre le pourcentage d'herbe dans la ration et le rapport LA/ALA du lait (tireté long) ; recommandations pour l'alimentation pour une alimentation équilibrée en LA et ALA (pointillé) (adapté de Hurtaud et al., 2010)

Ce type d'analyse peut être étendu pour la viande rouge (bovin, ovin), sachant que c'est l'alimentation pendant les semaines précédant la phase d'abattage qui impacte la composition de la viande en AGPI (Aldai et al., 2011). De nombreuses études comparent l'engraissement à base d'ensilage de maïs et l'herbe avec plus ou moins de concentrés. La teneur LA des animaux engraisés à l'herbe est toujours la plus élevée (ex Cherfaoui et al., 2013 pour deux muscles de Charolais : la somme des omégas 3 et 6 sont pour ces deux muscles est de 25 et 127mg pour le maïs et 65 et 113mg par 100g de tissu frais pour l'herbe. Le rapport LA/ALA passe donc de 5,1 à 1,7. Dans une expérimentation comparant la composition du filet en AGPI pour deux régimes alimentaires (ensilage d'herbe vs céréales, maïs et mélasses) pour deux régimes races (Angus et Holsstein), Warren et al. (2008) montrent que le LA passe de 7,3 à 2,2 mg/100g et le ALA de 0,45 à 2,1mg/g ; en conséquence, le rapport chute de 16,2 à 2,1. Dans une synthèse, Van Elswyk et McNeill (2014) comparent des régimes maïs et herbe. Les quantités de LA passent de 0,113 à 0,053 g/100 g de viande (steak, entrecôte) et le ALA de 0,010 à 0,021 ; le rapport LA/ALA décroît donc de 11,3 à 2,5. En outre, la quantité de DHA et EPA double, de 0,011 à 0,020mg/100g de produit. Des résultats similaires ont été obtenus par Nuernberg (et al 2006) pour les races Simmental et Holstein.

Pour les monogastriques, tout comme pour les ruminants, la nature du concentré (huiles ajoutées, type de tourteau) impacte fortement la composition de la viande et des œufs en AGPI.

Produit	Ration	LA	ALA	LA/ALA	Références
Lait	Herbe	82 (58- 89)	28 (19 ; 32)	2,9	Hurtaud Anses (Ferlay) 2011 ; Borreani et al 2013
	Maïs	73 (60-90)	12,5 (8-15)	5,9	
Viande rouge	Herbe	75 (52-120)	35 (21-60)	2,2	Anses 2011 ; Mourot 2015 ; Mourot et Tonnac 2015 ; Razminowicz et al 2006 ; Van Elswyk, et McNeill, 2014).
	Maïs	118 (73-170)	16 (10-24)	7,4	
Porc		450 (400-500)	42 (30-50)	10,7	Anses 2011 ; Mourot 2015 ; Mourot et Tonnac 2015 ; Parunovi et al 2012 ; Turner et al 2014
Volaille		250 (150-300)	20 (10-25)	12,5	Anses 2011 ; Kartikasari et al 2012 ; Mourot 2015 ; Mourot et Tonnac 2015
Oeuf		250 (140-350)	25 (10-35)	10	Antruejo et al 2011 ; Anses et al 2011 ; Karsten et al 2010

Tableau 2. Composition des produits animaux pour les systèmes d'alimentation courants (mg/100g) de produit

Les données du tableau 2 indiquent des valeurs moyennes et une plage de variabilité pour les principaux produits animaux, en distinguant une alimentation à base d'herbe ou de maïs pour les ruminants. L'ensemble de ces données est rassemblé de manière synthétique sur la figure 3 en montrant l'impact de la nature des concentrés (remplacement du soja par du colza) ou de modes d'élevage alternatifs pour les monogastriques en donnant accès à du pâturage, ou bien encore en complétant la ration avec du lin, ce qui permet de multiplier la teneur en ALA par 3 à 6 selon les espèces (Mourot, 2015).

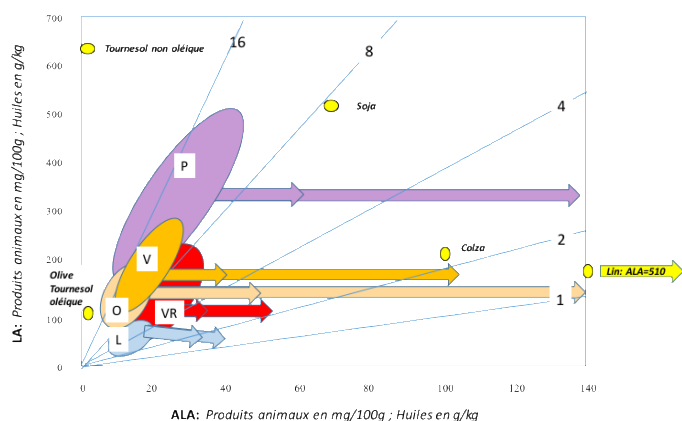


Figure 3 : relation entre les teneurs en LA et ALA pour les différents produits animaux (ellipses et flèches) et huiles végétales (petits ronds jaunes) : porc (P), V (volaille), O (œuf), VR (viandes rouges), L (lait)

Pour les produits animaux, l'ellipse correspond aux régimes alimentaires les plus courants actuels. La petite flèche traduit le changement moyen par remplacement de tourteaux (ex du colza à la place du soja) ou l'accès à un parcours herbeux pour les monogastriques; la grande flèche correspond à l'addition de lin. La grande surface de l'ellipse pour les monogastriques rend compte de la forte variabilité des produits (blancs et cuisses de poulets, maigre et gras de la viande de porc). La longueur des flèches est donnée à titre indicatif compte tenu de la forte variabilité observée en fonction de la quantité d'huiles (toutes espèces) et de l'importance du pâturage.

Cette synthèse rapide montre que, quelle que soit l'espèce animale, la composition des produits animaux pour les modes d'alimentation animale les plus courants est «déséquilibrante » (fig 3) pour l'alimentation humaine, sauf en cas d'alimentation des ruminants à l'herbe (fig. 2). Le remplacement de tourteaux de soja et de tournesol par du tourteau de colza, ainsi que l'accès au pâturage pour les monogastriques se traduit par une nette augmentation des teneurs en ALA permettant d'obtenir ainsi des produits équilibrants (lait, poulet, bœuf) ou de s'en rapprocher (œuf, porc). L'apport de lin se traduit toujours par l'obtention de produits équilibrants (LA/ALA<4, voire<2). Pour ce mode

d'alimentation, il est aussi montré une augmentation substantielle des teneurs en DHA, et EPA, surtout pour les œufs (non illustré aussi).

Les huiles, qui servent tout autant pour notre alimentation que pour les concentrés (huiles résiduelles des tourteaux ou huiles ajoutées) ont des compositions extrêmement variées (fig 3). Les plus utilisées pour l'alimentation du bétail sont déséquilibrantes (soja) ou équilibrantes (colza), mais aussi très déséquilibrantes (tournesol non oléique) ou équilibrantes (lin).

Qualification des régimes alimentaires des animaux pour la valeur santé des produits

Régime alimentaire moyen par espèce :

Pour qualifier les ressources alimentaires en terme d'impact potentiel sur la composition en AGPI des produits, nous avons, sur la base des résultats précédents, classé les matières premières en 5 classes :

- Très équilibrantes : herbe, tourteaux (huile) de lin ;
- Équilibrantes : tourteaux de colza ;
- Peu déséquilibrantes : ensilage de maïs et tourteaux de soja ;
- Déséquilibrantes : céréales ;
- Très déséquilibrantes : maïs grain, tourteaux (huile) de palme et de tournesol (sauf si oléique).

Pour les ruminants, l'herbe constitue près de 50% de la ration de base des vaches laitières, mais le plus souvent aussi des vaches de réforme qui ne sont pas engraisées (Idele, 2011) et fournissent 35% de la viande bovine. Pour les animaux à viande, l'herbe contribue en moyenne à 80 % de la ration de base, mais sans doute beaucoup moins les mois précédant l'abattage alors que c'est l'alimentation à cette période qui détermine la composition en AGPI de la viande. Dans les deux cas, les tourteaux de colza (ou huiles ajoutées) contribuent le plus aux apports d'AG (fig 4). Pour les monogastriques, la contribution du blé et de l'orge est supérieure à celle du maïs grain et les tourteaux de soja sont très dominants (fig 4).

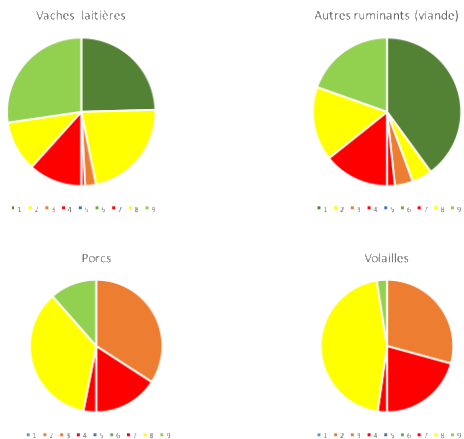


Figure 4 : pourcentages d'aliments équilibrants (verts foncé et clair) et déséquilibrants (jaune, orange, rouge) pour les apports de céréales et de fourrages (demi-sphère droite) et les apports d'huiles (directs ou sous forme de tourteaux : demi-sphère de gauche) pour les 4 principaux types de production : lait et vaches laitières de réforme pour la viande ; vaches allaitantes ; porcs et volailles (années 2008-2010)

Diversité des façons de produire du lait

Pour une même espèce animale et un même produit, les résultats expérimentaux présentés dans la section 1 montrent une grande variabilité de la composition en AGPI. Nous examinons maintenant la diversité des élevages sur la base d'une typologie des troupeaux de vaches laitières, en plaine, piémont et montagne, spécialisés en lait ou en polyculture élevage, représentant environ 50% des élevages ; les autres étant en troupeau mixte (Idele, 2011). Les huit types ont été regroupés en trois types sur la base de similitudes quant à la composition de la ration.

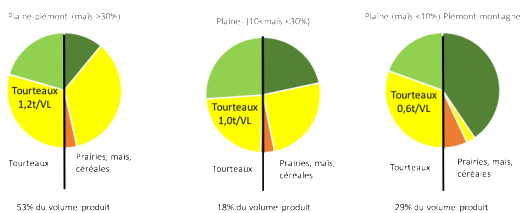


Figure 5 : Graphe radar de la composition de la ration pour les céréales et les fourrages (partie de droite) et de tourteaux (partie de gauche). Matière très équilibrante (herbe en vert foncé, équilibrante en vert clair (colza), déséquilibrante (maïs ensilage et tourteaux de soja en jaune) et très déséquilibrante (maïs grain en orange)

Selon notre grille d'analyse, seulement 29% du lait produit correspond à une ration équilibrante pour les fourrages, et vraisemblablement pour l'ensemble de la ration compte tenu du faible apport des tourteaux (0,6t par vache en moyenne), (fig 5). Ces élevages sont situés majoritairement en montagne. Ils ne représentent que 4% des élevages de plaine, mais ces derniers ne consomment que 0,3t de tourteaux.

Des filières végétales et animales très imbriquées

Les huiles et tourteaux au cœur de notre système alimentaire

Les céréales (blé, orge, maïs) constituent la base de l'alimentation des monogastriques, mais aussi de celle des ruminants en complément de l'herbe pâturée, fanée ou ensilée. Les oléagineux jouent un rôle central dans notre système alimentaire actuel (Fig. 6). D'une part, ils fournissent les huiles alimentaires (assaisonnement, cuisson, friture, conserves, et ingrédients de nombreux produits) dont la consommation n'a cessé de croître ces dernières années

(consommation apparente, c'est-à-dire sans tenir compte de la fraction non consommée, de 30 g/jour) ; d'autre part, les huiles elles-mêmes ainsi que les tourteaux contenant des huiles résiduelles servent à la complémentation des animaux en protéines tout en apportant l'équivalent de 8g/j d'huile par personne (il s'agit d'un calcul théorique qui ne préjuge pas des quantités d'AGPI ingérée au travers de la consommation des produits animaux mais qui fournit une information sur l'usage des huiles, au-delà de leur consommation directe). Une partie de ces huiles est importée, principalement les huiles de palme et de soja (équivalent respectivement à de 3,6 et 2,4g/j d'huile par personne) (Duru et Magrin 2016, calculs d'après les statistiques d'Agreste).

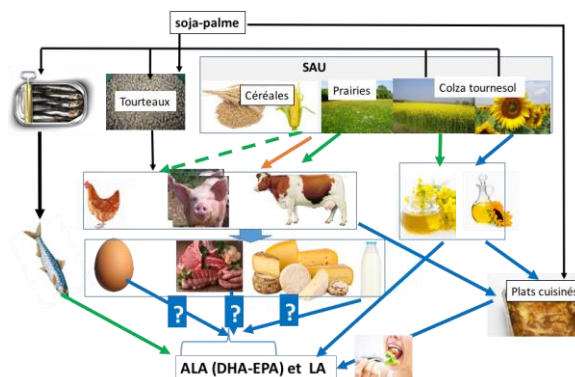


Figure 6 : Des filières végétales et animales à la composition de notre assiette en AGPI (voir texte pour sigles)

Sur 25,9 millions d'ha que compte la France en surfaces en céréales, oléoprotéagineux et prairies, 67% sont utilisées pour l'élevage (Agreste 2010). Cela correspond à 25 % des surfaces en céréales et 30% des surfaces en oléoprotéagineux. En outre, l'équivalent de 2,4 millions d'ha d'oléoprotéagineux (calculs avec rendements français) sont importés (soja essentiellement), soit l'équivalent de la surface d'oléoprotéagineux utilisée par les animaux (fig 7).

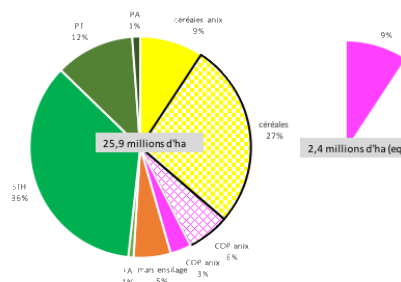


Figure 7 Proportion des différentes surfaces en céréales, oléoprotéagineux et prairies utilisées par l'élevage (en quadrillé, surfaces non utilisées pour l'élevage) et estimation de la surface importée en oléoprotéagineux (figure de droite)

(source : Agreste 2010)
PT et PA : prairie temporaires et artificielles ; STH : surfaces toujours en herbe ; FA : fourrages annuels ; COP : culture d'oléoprotéagineux ; anix : animaux ; eq : équivalent

Ces différentes ressources peuvent être évaluées en tonnage selon leur capacité à équilibrer ou déséquilibrer la composition des produits en AGPI (d'après statistiques Agreste) : 48250Mt (millions de t) (herbe : très équilibrante) ; 17850Mt (maïs ensilage : moyennement déséquilibrant) ; 12150Mt (blé, orge : déséquilibrant) ; 6660Mt (maïs grain : très déséquilibrant) ; le blé, l'orge et le maïs grain et 50% de l'ensilage de maïs correspondant à en moyenne 1200g/j et par personne de céréales consommées via les produits animaux. Pour les apports par les huiles et tourteaux : 18. 10³ Mt (lin : très équilibrant ; données

Labalette et al 2011); 120Mt (colza : équilibrant); 127Mt (soja : déséquilibrant); 111Mt (palme et tournesol : très déséquilibrant sauf si il s'agit de tournesol oléique).

Des changements marquants des systèmes d'alimentation des animaux au cours des cinquante dernières années

Pour retracer l'évolution de l'alimentation des ruminants sur une période longue, à partir de 1960, nous avons considéré les données de surface à défaut de rendements pour les céréales et les prairies, en distinguant les prairies permanentes, les prairies temporaires et la luzerne dont les surfaces ont évolué différemment. Entre 1960 et 1997, les évolutions marquantes sont la forte augmentation de l'ensilage de maïs jusqu'en 1990, la forte réduction des prairies permanentes à partir de 1980 et des luzernes jusqu'en 1990, et l'augmentation des prairies temporaires jusqu'en 1980 (fig 8). Sur la période 1998-2008, période pour laquelle nous disposons d'information sur les rendements, les évolutions les plus marquées sont la légère augmentation de l'ensilage de maïs pour les fourrages grossiers.

Pour les protéines, la quantité de soja importée est passée de 1Mt en 1973 à 4,7Mt en 2003. Pour les huiles, les traits marquants sont la forte augmentation de consommation d'huile de palme entre 1998 et 2002, puis de l'huile de colza (non montré).

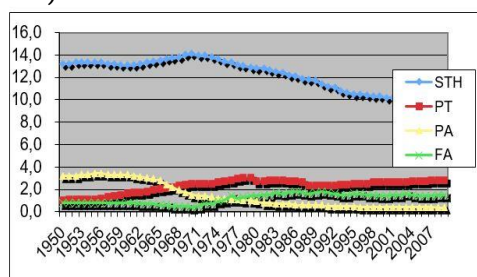


Figure 8 : évolution des surfaces fourragères en France (millions d'ha). FA : fourrages annuels (maïs ensilage principalement), STH : surfaces toujours en herbe, PT et PA respectivement prairies temporaires et artificielles (luzerne principalement) (source : Agreste)

De ces informations, on peut en déduire une forte détérioration de la ration de base (céréales et herbe) en AGPI entre 1960 et 1998 (augmentation de LA et réduction de ALA); la période suivante étant assez stable comme vu ci-dessus. Pour l'apport d'huiles, le changement majeur est l'augmentation de l'utilisation du tourteau de soja jusqu'en 2003, puis celui de palme avant une baisse de leur utilisation régulière jusqu'à maintenant. Cette évolution a impacté tant les ruminants que les monogastriques (tableau 3). Les stats de 2010 à 2016 montrent une baisse marquée des surfaces de STH.

Sur la base de ces données, nous avons qualifié l'évolution de la composition des produits animaux en AGPI. La période la plus critique s'est déroulée entre 1960 et la fin des années 90, et une évolution positive est estimée à partir des années 2000.

En résumé, l'élevage est un fort consommateur d'espace agricole, qu'il s'agisse de prairies, mais aussi de cultures annuelles (céréales) ou de coproduits de l'extraction des huiles (tourteaux). L'équivalent de près de 10% des quantités produites sont importées (tourteaux de soja), mais dans le même temps, la production est fortement excédentaire pour le lait et les produits laitiers et légèrement déficitaire pour la viande (annexe). Des années 50 à 2000, les faits marquants ont été la réduction importante des surfaces en prairies, l'augmentation des surfaces en maïs (ensilage et grain) associée aux importations de tourteaux de soja qui présentent l'avantage d'avoir une forte concentration en protéines. Depuis le début des années 2000, la diminution des prairies se poursuit, mais à un rythme plus faible ; il y a substitution du tourteau de soja importé par des tourteaux de tournesol et de colza produits en France, mais il ne s'agit pas de légumineuses, et seul le tourteau de colza contribue à améliorer la composition en AGPI des produits animaux.

Période	Maïs et prairies				Soja		
	Maïs	Prairies permanentes	Prairies temporaires	Luzerne	Impact sur l'équilibre entre AGPI	Importations	Impact sur l'équilibre entre AGPI
1960-1980	++	=	+	-	--	+++	---
1980-1990	++	--	-	-	--	++	-
1990-2000	=	-	=	(-)	-	+=	-
>2000	=	-	+	0	0	-	+

Tableau 3 : évolution des surfaces en maïs et prairies et des importations de soja de 1960 à nos jours ; évaluation qualitative sur l'équilibre en AGPI. Les signes + et - indiquent des augmentations ou réductions de surfaces et une amélioration (augmentation des ressources riches en ALA ou réduction des ressources riches en LA) ou une détérioration de la composition en acides gras des matières premières utilisées pour l'alimentation des animaux. AGPI : acides gras polyinsaturés.

Au cours des cinquante dernières années, la PAC n'a pas réussi à enrayer la diminution des surfaces en prairies pour l'élevage (Catan, 2014), réduisant ainsi une voie importante d'amélioration des teneurs en ALA des produits des ruminants. Par contre, les incitations à la production de cultures énergétiques, notamment à partir du colza (Thomas et al., 2013), ont indirectement permis de réduire l'usage des tourteaux de soja. La directive 2003/30/CE a en effet prévu que les biocarburants représentent 2 % des carburants consommés pour les transports dans l'UE en 2005, et 5,75 % en 2010. Ces politiques publiques ont ainsi indirectement impacté la composition des produits animaux en AGPI : la part du colza

relativement au soja dans les concentrés est passée de 33% à 65% au cours de la période d'étude, et il a été montré que le remplacement du tourteau de soja par du tourteau de colza augmente d'environ 20% la teneur du muscle (Sami et al., 2010) et du lait (Rutkowska et al., 2015) en ALA.

Trois scénarios de production animale en lien avec la santé humaine : enjeux pour l'agronomie

Que faire pour promouvoir des produits équilibrés ou équilibrants, sans pour autant augmenter, voire en réduisant les impacts environnementaux de l'élevage ? Le scénario ten-

danciel serait la poursuite de la régression des prairies et le cantonnement de la filière Bleu Blanc Cœur à une niche (label garantissant une teneur minimale en ALA suite à un ajout de lin extrudé dans la ration des animaux : Magrini et Duru, 2014). La construction des scénarios (tableau 4) qui suivent partent de trois constats (tableau 4) :

- La plupart des huiles sont déséquilibrantes, excepté celle de colza (dont la part est passée de 10 à 23% des huiles consommées, en incluant celles des tourteaux); en outre la fourniture en AGPI provenant des huiles a augmenté massivement au cours des vingt dernières années, alors que les apports provenant des produits animaux sont restés relativement constants ;

- Tous les laits, viandes, œufs ne se valent pas en termes de composition en AGPI ; entre les années 60 et 2000, leur composition est passée d'équilibrante (lait, viande rouge) ou peu déséquilibrante (œufs, viandes blanches) à déséquilibrante pour une proportion de plus en plus grande de chacun de ces produits (fig 3) ;

- En outre, l'élevage est source d'impacts environnementaux importants : émission de méthane pour les ruminants, surplus en N et P dans les zones à forte concentration des productions animales, en relation avec les importations massives de soja jusqu'au début des années 2000.

Pour le premier scénario, le changement majeur est la recherche d'une **autonomie en protéines** pour l'alimentation des animaux ; la chute des prairies est aussi enrayée. Il s'agit d'un **scénario d'inflexion** dans la mesure où ce changement est déjà amorcé avec la **substitution** entre tourteaux de soja et de colza, voire de tournesol. Les effets attendus sont cependant amplifiés dans la mesure où il est recherché une augmentation importante des protéagineux (pois, lupin) ou de légumineuses (luzerne), dont les surfaces ont fortement régressé (Voisin et al., 2013). Comme nous l'avons vu, ce type de substitution concourt peu à l'amélioration de l'équilibre en AGPI, sauf si les surfaces en luzerne augmentent de manière importante. Cependant, ces changements conduisent à diversifier fortement les assolements et les rotations. Les agronomes sont alors amenés à développer des recherches sur les services écosystémiques que peuvent fournir ces cultures. Mais un tel scénario livre le consommateur, même averti, à lui-même pour choisir les produits animaux ayant eu une alimentation vertueuse du point de vue des AGPI (Duru et Magrini, 2016) et les bonnes huiles, en particulier celles se trouvant dans les produits transformés.

Le deuxième scénario vise à **promouvoir des produits animaux équilibrants en AGPI**. Quatre voies complémentaires peuvent être développées. Les deux premières consistent dans la mise en place de prairies ou de couverts riches en protéines (méteil) dans des élevages, voire de la luzerne dans des exploitations spécialisées de grande culture. La troisième consiste à développer des intercultures et les utiliser pour l'alimentation des troupeaux. La quatrième passe par l'augmentation forte de l'utilisation du lin. Ce second scénario de rupture adresse donc à la fois les questions d'AGPI et d'environnement pour les ruminants :

- Par le développement de systèmes à l'herbe pour les ruminants ; cela suppose d'envisager une réduction de la production par ha, y compris de la production autonome (déduite des concentrés) du fait d'une moindre concentration énergétique et en protéines que dans le système maïs soja. Pour les monogastriques, des modes d'élevage alternatifs don-

nant une place à une alimentation à base d'herbe peuvent aussi être promus (Duru et Magrini, 2016) ;

- Par l'association culture-élevage aux échelles exploitations et territoire notamment en introduisant des prairies à base de luzerne dans les exploitations spécialisées en grande culture pour réduire les impacts environnementaux des cultures (Moraine et al., 2016). Ce scénario suppose de réduire la place du maïs dans les exploitations d'élevage (principalement laitier) et d'organiser des échanges entre exploitations spécialisées en élevage et en grande culture. Ainsi, il a été montré que les prairies, en particulier celles avec légumineuses, lorsqu'introduites dans des systèmes spécialisés en grande culture, permettaient de diminuer les émissions dans l'eau et l'atmosphère et ainsi de réduire le besoin en intrants de synthèse de par leur effet positif sur les composantes physiques, chimiques et biologiques de la fertilité des sols (Franzluebbers et al., 2014) ;

- Une autre possibilité est de promouvoir le développement des cultures intermédiaires (comme en agriculture de conservation) et de les utiliser pour alimenter tout ou partie des ruminants (Martens et Entz, 2011) ;

- Enfin, par la forte augmentation de l'apport de lin dans les rations, en particulier pour les monogastriques pour qui cette technologie est la plus facile à mettre en œuvre ; en outre, cette pratique permet aussi de réduire les émissions de méthane des ruminants (Martin et al 2008).

Si le premier scénario permet de maintenir les exportations de produits laitiers pour lesquels la France est excédentaire, contrairement aux monogastriques (annexe 1), le second nécessite des baisses de production sauf à étendre beaucoup les surfaces en prairies.

Produits	Nature	Solde commercial
Lait et produits		+ 3600 (dont la moitié par les fromages)
Bovins	Animaux vivants	+1076
	carcasse	-521
Volailles	Animaux vivants	74
	carcasse	-110
Porcs	Animaux vivants	66
	carcasse	-310

Annexe 1 : France Agrimer 2014 (millions d'euros)

Le troisième scénario consiste en une **forte réduction de la consommation et de la production de produits animaux dans les pays occidentaux**. De tels scénarios, motivés par des considérations sur la santé humaine et l'impact environnemental de l'élevage sont actuellement considérés et évalués au niveau européen et mondial (eg Capper, 2013 ; Garnet 2013 ; Heller et al., 2013 ; Nijan et al., 2012 ; Tom et al., 2015), considérant un impact négatif d'une consommation excessive de produits animaux sur la santé humaine (Stoll-Kleemann and O'Riordan, 2015). D'autres auteurs justifient ce choix aussi pour des raisons de bien-être animal. Certains de ces scénarios circonscrivent la production animale à l'utilisation des surfaces obligatoirement en herbe pour les ruminants et à l'utilisation de sous-produits pour les monogastriques. Il s'agit donc d'une rupture forte par rapport au scénario tendanciel. Dans ce troisième scénario, nous considérons que l'élevage de ruminants se concentre sur les surfaces en herbe et les monogastriques sont alimentés principalement par les sous-produits de l'agroalimentaire. En pa-

rallèle, les modes de production alternatifs des monogastriques s'amplifient (pâturage, parcours herbeux et boisés). Il n'y a plus recherche d'exportations, excepté pour les fromages. Il y a donc montée en gamme de la composition de tous les produits animaux. Dans ce scénario, une part impor-

tante des surfaces de grandes cultures ne sont plus allouées à l'alimentation animale et peuvent donc être utilisées pour développer des cultures pour la consommation humaine intérieure ou l'exportation.

Scénario	Ressources alimentaires	Conséquences pour l'agronomie	Impact en termes de surface
Inflexion : autonomie en protéines ; pas d'impact santé	Plus de protéagineux	Diversification des cultures (pois, féverole, méteil (légalumineuses))	Si on ne réduit pas l'élevage, cette option exige plus de surface, mais au détriment de quoi si l'on veut maintenir niveaux de productions animales ?
Rupture : amélioration des AGPI et réduction des impacts environnementaux	prairies (luzerne) et lin dans les exploitations de grande culture	Substitution maïs (grain et ensilage) par luzerne et lin dans EA de grandes cultures et dans l'alimentation des élevages; PCE au niveau territoire (moins de maïs pour l'élevage)	Substitution : s'attendre à une perte de rdt, donc plus de surface nécessaire ; PCE permet surtout de réduire impacts environnementaux
Rupture forte : amélioration des AGPI, réduction des impacts environnementaux et réduction importante de la consommation de produits animaux	Ruminants à l'herbe et couverts intermédiaires; monogastriques à partir des sous-produits de l'agro-alimentaire	Réallocation massive de surfaces aux cultures de vente ; libération de surfaces pour d'autres usages que l'élevage (moins de céréales pour l'élevage)	

Tableau 4 : description synthétique de trois scénarios d'élevage pour lesquels des questions de recherche sont examinées pour les agronomes (EA= Exploitation Agricole, PCE : polyculture-élevage, AGPI : acides gras poly-insaturés)

Conclusion

Notre alimentation actuelle est en moyenne très déficiente en oméga-3 et excédentaire proportionnellement en oméga-6, ce qui contribue au développement de nombreuses maladies chroniques. Les apports en oméga-3 et 6 à notre alimentation ont respectivement légèrement décliné et beaucoup augmenté des années 50 au début des années 2000 en partie du fait d'une réduction de la place de l'herbe dans l'alimentation des animaux domestiques et d'une forte augmentation des tourteaux de soja en grande partie importés. L'utilisation du maïs sous forme d'ensilage chez les ruminants ou en grain chez les monogastriques a aussi contribué à augmenter la part des oméga 6. Depuis les années 2000, ces évolutions se sont stabilisées notamment du fait d'une substitution entre tourteaux de soja et de colza. Néanmoins, l'écart aux recommandations nutritionnelles étant grand, nous avons défini trois scénarios à partir de critères d'autonomie en protéines, d'impact environnemental et de santé humaine, et nous les avons examinés quant à leur impact en termes d'utilisation des terres :

- Accroissement de la surface en oléoprotéagineux pour augmenter l'autonomie des élevages en protéines : ce changement ne permet cependant pas d'améliorer la composition des produits animaux en acides gras ;
- Augmentation de la surface en prairies, y compris dans les systèmes de grande culture, en développant la complémentarité culture-élevage dans les exploitations et dans les territoires, ainsi que la culture du lin. Tous ces changements génèreraient de nouvelles successions de culture qui impacteraient la fertilité des sols, mais aussi des régulations biolo-

giques du fait de nouvelles répartition spatiales des cultures ;

- Baisse radicale de la consommation de produits animaux, ce qui libère des surfaces pour d'autres productions et marchés.

Ces scénarios induisent un effort nouveau en agronomie pour initier des scénarios territoriaux, tant nationaux qu'au niveau des Régions Agricoles pour donner à voir comment s'implanteraient ces inflexions.

Références bibliographiques

Ailhaud G, Massiera F, Weill P, Legrand P, Alessandri JM, Guesnet P. 2006. Temporal changes in dietary fats: role of n-6 polyunsaturated fatty acids in excessive adipose tissue development and relationship to obesity. *Progress in Lipid Research* 45 : 203-36.

Aldai, N., Dugan, M. E. R., Kramer, J. K. G., Martínez, A., López-Campos, O., Mantecón, A. R., & Osoro, K. (2011). Length of concentrate finishing affects the fatty acid composition of grass-fed and genetically lean beef: an emphasis on trans-18: 1 and conjugated linoleic acid profiles. *Animal*, 5(10), 1643-1652.

Anses 2011. Impact des pratiques en alimentation animale sur la composition en acides gras des produits animaux destinés à l'Homme Rapport d'expertise collective Anses 2011.

Anses 2015. Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras Rapport d'expertise collective <https://www.anses.fr/fr>.

- Antruejo A, Azcona JO, Garcia PT, Gallinger C, Rosmini M, Ayerza R. (2011). Omega-3 enriched egg production: the effect of α -linolenic ω -3 fatty acid sources on laying hen performance and yolk lipid content and fatty acid composition. *British Poultry Science*, 52 : 750-60.
- Benbrook, C. M., Butler, G., Latif, M. a, Leifert, C., & Davis, D. R. (2013). Organic production enhances milk nutritional quality by shifting fatty acid composition: a United States-wide, 18-month study. *PLoS One*, 8(12), e82429.
- Borreani G, Coppa M, Revello-Chion A, Comino L., Giaccone, D, Ferlay A. 2013. Effect of different feeding strategies in intensive dairy farming systems on milk fatty acid profiles, and implications on feeding costs in Italy. *Journal of Dairy Science*, 1-16.
- Bousquet M, Calon F, Cicchetti F. 2011. Impact of ω -3 fatty acids in Parkinson's disease. *Ageing Research Reviews*, 10 : 453-63.
- Butler G. 2014. Manipulating dietary PUFA in animal feed: implications for human health. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 73 : 87-95.
- Calder, P. C. (2014). Very long chain omega-3 (n-3) fatty acids and human health. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(10), 1280-1300. <http://doi.org/10.1002/ejlt.201400025>.
- Catan A. 2014. La préservation des prairies dans la PAC : les raisons d'une illusion. *Courrier de l'Environnement* 64: 91-104.
- Capper, J. L. (2013). Should we reject animal source foods to save the planet? A review of the sustainability of global livestock production. *South African Journal of Animal Science*, 43(3), 234-246. <http://doi.org/10.4314/sajas.v43i3.1>.
- Cherfaoui, M., Durand, D., Bonnet, M., Bernard, L., Bauchart, D., Ortigues-Marty, I., & Gruffat, D. (2013). A grass-based diet favours muscle n-3 long-chain PUFA deposition without modifying gene expression of proteins involved in their synthesis or uptake in Charolais steers. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 7(11), 1833-40.
- Dale, B. E., & Ong, R. G. (2014). Design, implementation, and evaluation of sustainable bioenergy production systems. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 8(4), 487-503. <http://doi.org/10.1002/bbb>.
- Dawczynski, C., Massey, K. a, Ness, C., Kiehntopf, M., Stepanow, S., Platzer, M., ... Jahreis, G. (2013). Randomized placebo-controlled intervention with n-3 LC-PUFA-supplemented yoghurt: effects on circulating eicosanoids and cardiovascular risk factors. *Clinical Nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 32(5), 686-96. <http://doi.org/10.1016/j.clnu.2012.12.010>.
- Doreau, M., Fievez, V., Troegeler-Meynadier, A., & Glasser, F. (2012). Métabolisme ruminal et digestion des acides gras longs chez le ruminant: Le point des connaissances récentes. *Productions Animales*, 25(4), 361-374.
- Duru, M., Magrini MB (2016). Consommer des produits dont les animaux ont été alimentés à l'herbe est-il suffisant pour équilibrer notre alimentation en acides gras polyinsaturés? *Fourrages*, 301-312.
- Elgersma Anjo. (2015). Grazing increases the unsaturated fatty acid concentration of milk from grass-fed cows: A review of the contributing factors, challenges and future perspectives. *European Journal of Lipid Science and Technology*, n/a-n/a.
- FAO. 2008. Graisses et acides gras dans la nutrition humaine. Rapport d'une consultation d'experts.
- Fardet, A., & Rock, E. (2015). Vers une approche plus holistique de la nutrition. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*. <http://doi.org/10.1016/j.cnd.2015.10.004>.
- Farruggia, A., Martin, B., Baumont, R., Prache, S., Doreau, M., Hoste, H., & Durand, D. (2008). Quels intérêts de la diversité floristique des prairies permanentes pour les ruminants et les produits animaux ? *Productions Animales*, 21(2), 181-200.
- Franzluebbers, A. J., Sawchik, J., & Taboada, M. a. (2014). Agronomic and environmental impacts of pasture-crop rotations in temperate North and South America. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 18-26. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.017>.
- Galgano, F., Tolve, R., Colangelo, M. A., Scarpa, T., Caruso, M. C., & Yildiz, F. (2016). Conventional and organic foods: A comparison focused on animal products. *Cogent Food & Agriculture*, 1142818. <http://doi.org/10.1080/23311932.2016.1142818>.
- Garnett, T. (2013). Food sustainability: problems, perspectives and solutions. *Proceedings of the Nutrition Society*, 72(01), 29-39. <http://doi.org/10.1017/S0029665112002947>.
- Gerber, M. (2012). Omega-3 fatty acids and cancers: a systematic update review of epidemiological studies. *The British Journal of Nutrition*, 107 Suppl , S228-39. <http://doi.org/10.1017/S0007114512001614>.
- Gogus, U., & Smith, C. (2010). N-3 omega fatty acids: a review of current knowledge. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(3), 417-436.
- Heaton, E. A., Schulte, L. A., Berti, M., Langeveld, H., Zegada-Lizarazu, W., Parrish, D., & Monti, A. (2013). Managing a second-generation crop portfolio through sustainable intensification: Examples from the USA and the EU. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 7(6), 702-714. <http://doi.org/10.1002/bbb>.
- Heller, M. C., Keoleian, G. A., & Willett, W. C. (2013). Toward a life cycle-based, diet-level framework for food environmental impact and nutritional quality assessment: A critical review. *Environmental Science and Technology*, 47(22), 12632-12647.
- Hurtaud, C., Faucon, F., Couvreur, S., & Peyraud, J.-L. (2010). Linear relationship between increasing amounts of extruded linseed in dairy cow diet and milk fatty acid composition and butter properties. *Journal of Dairy Science*, 93(4), 1429-43. <http://doi.org/10.3168/jds.2009-2839>.
- IDELE. 2011. La production de viande bovine en France Qui produit quoi, comment et où ? 145: 60pp.
- Karsten, H. D., Patterson, P. H., Stout, R., & Crews, G. (2010). Vitamins A, E and fatty acid composition of the eggs of

- caged hens and pastured hens. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 25(01), 45.
<http://doi.org/10.1017/S174217050990214>.
- Kartikasari, L. R., Hughes, R. J., Geier, M. S., Makrides, M., & Gibson, R. A. (2012). Dietary alpha-linolenic acid enhances omega-3 long chain polyunsaturated fatty acid levels in chicken tissues. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 87(4-5), 103-109.
- Kiecolt-Glaser J K, Belury M, Andridge R, Malarkey WB, Hwang BS, Glaser R. 2012. Omega-3 supplementation lowers inflammation in healthy middle-aged and older adults: a randomized controlled trial. *Brain Behav Imm* 6: 988-95.
- Legrand, P. (2013). Nouvelle approche pour les recommandations nutritionnelles en lipides cessaie. *OCL*, 20(2), 75-78.
- Magrini, M., & Duru, M. (2014). Dynamiques d' innovation dans l' alimentation des bovins - lait : une analyse du processus de diffusion de la démarche « Bleu-Blanc-Cœur » et de ses répercussions. *Fourrages*, 217, 79-90.
- Maqbool, A., Strandvik, B., & Stallings, V. a. (2011). The skinny on tuna fat: health implications. *Public Health Nutrition*, 14(11), 2049-54.
- Martens, J. R. T., & Entz, M. H. (2011). Integrating green manure and grazing systems : A review. *Canadian Journal of Plant Science*, (May). <http://doi.org/10.4141/CJPS10177>.
- Martin, C., Rouel, J., Jouany, J. P., Doreau, M., & Chilliard, Y. (2008). Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed, or linseed oil. *Journal of Animal Science*, 86(10), 2642-2650.
- Molendi-Coste O, Legry, V, Leclercq IA. 2011. Why and How Meet n-3 PUFA Dietary Recommendations? *Gastroenter Resear Pract* Article ID 364040, 11.
- Molfinio, A., Gioia, G., Fanelli, F., & Muscaritoli, M. (2014). The Role for Dietary Omega-3 Fatty Acids Supplementation in Older Adults. *Nutrients*, 6(10), 4058-4072.
- Mourot J. 2015 Evolution de la qualité des produits animaux ces cinquante dernières années. *Cah Nutr Diet* 50: 1-6.
- Mourot, J., & Tonnac, A. De. (2015). F LAX AND HEMP L in et chanvre The Bleu Blanc Cœur path : impacts on animal products and human health. *OCL*, 22(6).
- Nuernberg, K., Ender, K., & Dannenberger, D. (2006). Possibilities to produce healthy, tasty meat and to improve its nutritional value. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 15(1), 17-21.
- Parunovi, N, M. Petrov, V. Matekalo-Sverak D. Trbovi, M. M. R. (2012). of free-range and conventionally reared Mangalitsa pigs. *South African Journal of Animal Science*, 42(2).
- Patterson, E., Wall, R., Fitzgerald, G. F., Ross, R. P., & Stanton, C. (2012). Health implications of high dietary omega-6 polyunsaturated Fatty acids. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2012, 539426.
- Razminowicz RH, Kreuzer M, Scheeder MRL. 2006. Quality of retail beef from two grass-based production systems in comparison with conventional beef. *Meat Sci* 3: 351-61.
- Rutkowska J, Białek M, Bagnicka E, Jarczak J, Tambor K, Strzałkowska N. 2015. Effects of replacing extracted soybean meal with rapeseed cake in corn grass silage-based diet for dairy cows. *The J of Dairy Resear* 82: 161-168.
- Simopoulos, A. P. (2013). Dietary omega-3 fatty acid deficiency and high fructose intake in the development of metabolic syndrome, brain metabolic abnormalities, and non-alcoholic fatty liver disease. *Nutrients*, 5(8), 2901-23.
<http://doi.org/10.3390/nu5082901>.
- Song, C., Shieh, C., Wu, Y., Kalueff, A., Gaikwad, S., & Su, K. (2016). Progress in Lipid Research The role of omega-3 polyunsaturated fatty acids eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids in the treatment of major depression and Alzheimer's disease : Acting separately or synergistically ? *Progress in Lipid Research*, 62, 41-54.
<http://doi.org/10.1016/j.plipres.2015.12.003>.
- Stoll-Kleemann, S., & O'Riordan, T. (2015). The Sustainability Challenges of Our Meat and Dairy Diets. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 57(3), 34-48.
<http://doi.org/10.1080/00139157.2015.1025644>.
- Thomas A, Schneider A, Pilorgé P. Politiques agricoles et place du colza et du pois dans les systèmes de culture *Revue AE&S* 3, 7www.agronomie.asso.fr/...de...2013.../revue-aes-vol3-n1-7/.
- Tom, M. S., Fischbeck, P. S., & Hendrickson, C. T. (2015). Energy use, blue water footprint, and greenhouse gas emissions for current food consumption patterns and dietary recommendations in the US. *Environment Systems and Decisions*. <http://doi.org/10.1007/s10669-015-9577-y>.
- Turner, T. D., Mapiye, C., Aalhus, J. L., Beaulieu, a D., Patience, J. F., Zijlstra, R. T., & Dugan, M. E. R. (2014). Flaxseed fed pork: n-3 fatty acid enrichment and contribution to dietary recommendations. *Meat Science*, 96(1), 541-7.
<http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.08.021>.
- Van Elswyk ME, McNeill SH. 2014. Impact of grass/forage feeding versus grain finishing on beef nutrients and sensory quality: The U.S. experience. *Meat Sci* 96: 535-540.
- Voisin, A.-S., Guéguen, J., Huyghe, C., Jeuffroy, M.-H., Magrini, M.-B., Meynard, J.-M., ... Pelzer, E. (2013). Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 361-380.
<http://doi.org/10.1007/s13593-013-0189-y>.
- Warren, H. E., Scollan, N. D., Enser, M., Hughes, S. I., Richardson, R. I., & Wood, J. D. (2008). Effects of breed and a concentrate or grass silage diet on beef quality in cattle of 3 ages. I: Animal performance, carcass quality and muscle fatty acid composition. *Meat Science*, 78(3), 256-69.
<http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.06.008>.
- Yang LG, Song ZX, Yin H, Wang YY, Shu GF, Lu HX. 2016. Low n-6/n-3 PUFA Rapport Improves Lipid Metabolism, Inflammation, Oxidative Stress and Endothelial Function in Rats Using Plant Oils as n-3 Fatty Acid Source. *Lipids* 51: 49-59.