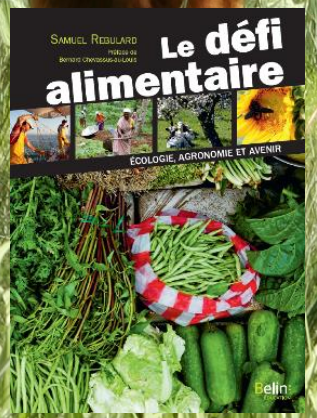
Orléans – 5 février 2020

Vers une gestion durable des agrosystèmes : quels leviers pour quels enjeux ?

Journée des SVT – APBG - Inspection



Samuel Rebulard

Préparation à l'agrégation Sciences de la Vie, de la Terre et de l'Univers – Université Paris-Saclay, ENS, ENS Paris-Saclay, MNHN

samuel.rebulard@u-psud.fr

Photo : S.Rebulard

Nombre d'humains

10-11 milliards

200 000 ans de chasse, cueillette

10000 ans
d'agriculture

Qu’est ce que la durabilité des agrosystèmes ?

Assurer la sécurité alimentaire

Qu’est ce que la durabilité des agrosystèmes ?

Gro Harlem Brundtland (1939-)

« Le développement durable est un mode de développement qui répond aux besoins des **générations présentes** sans compromettre la capacité des **générations futures** de répondre aux leurs. »
Rapport Bruntland, *Our Common Future*, 1987

Qu’est ce que la durabilité des agrosystèmes ?

Assurer la sécurité alimentaire

Réduire les pertes et gaspillage

Renforcer la **confiance** entre les acteurs

Réduire l’exposition aux risques chimiques

Permettre aux producteurs de **vivre de leur travail**

Réduire les coûts

Simplifier les systèmes alimentaires

Renforcer l’autonomie des exploitations

Maintenir l’activité rurale

Accompagner les agriculteurs dans les évolutions à venir

Assurer **le bien être** des animaux

Maintenir et améliorer la **fertilité** des sols

Maintenir et favoriser la **biodiversité**

Exploiter pleinement les **ressources** disponibles et permettre leur renouvellement

Réduire les intrants externes

Réduire l’impact carbone des systèmes alimentaires

S’adapter au changement climatique

Développer des systèmes résilients (diversifiés notamment)

Réduire les pollutions (air, eau, sol)

Maintenir et renforcer et utiliser les **services écologiques**

Enjeu

La sécurité alimentaire

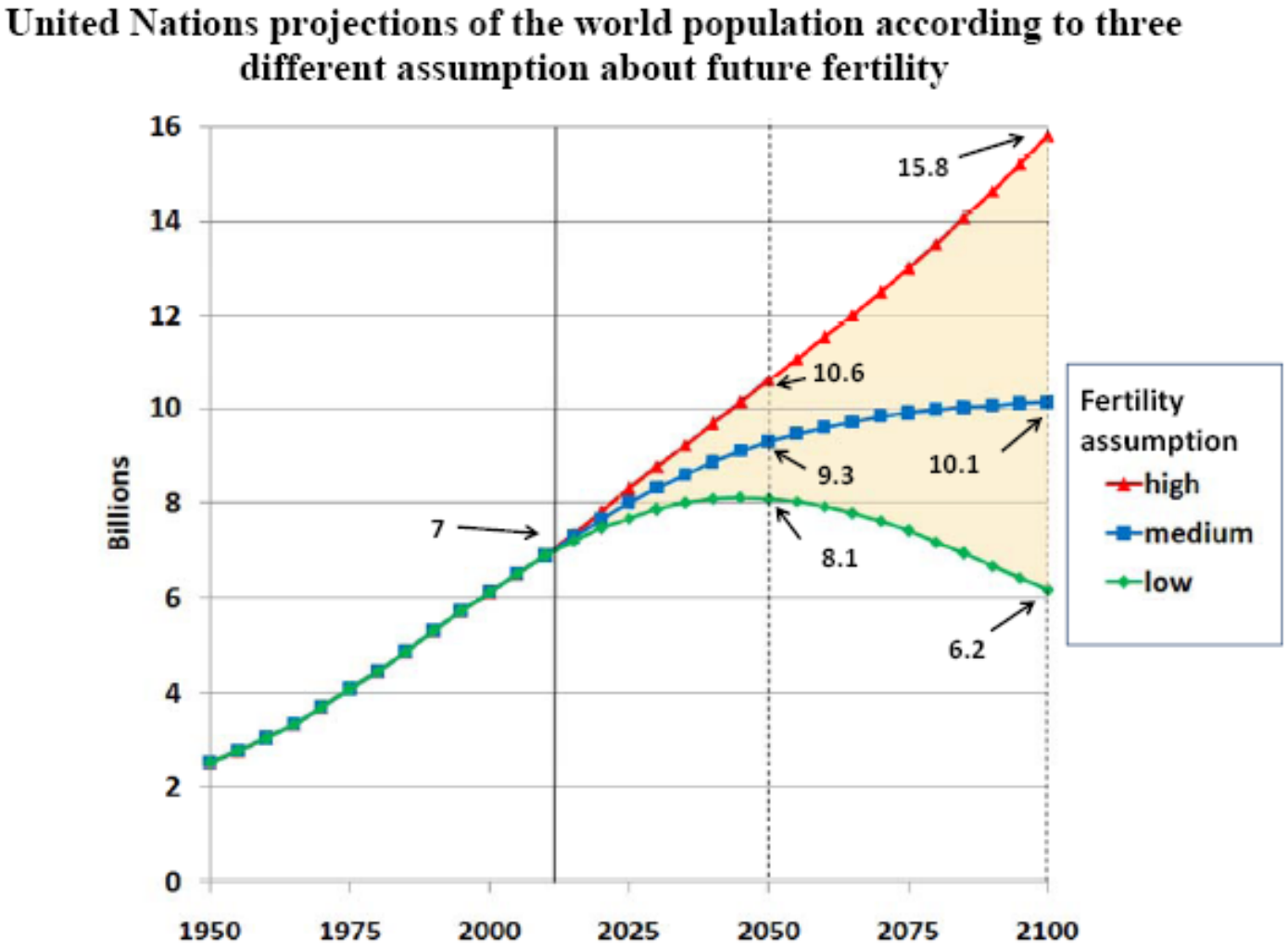
Comment en est-on arrivé là?

Les composantes de la sécurité alimentaire

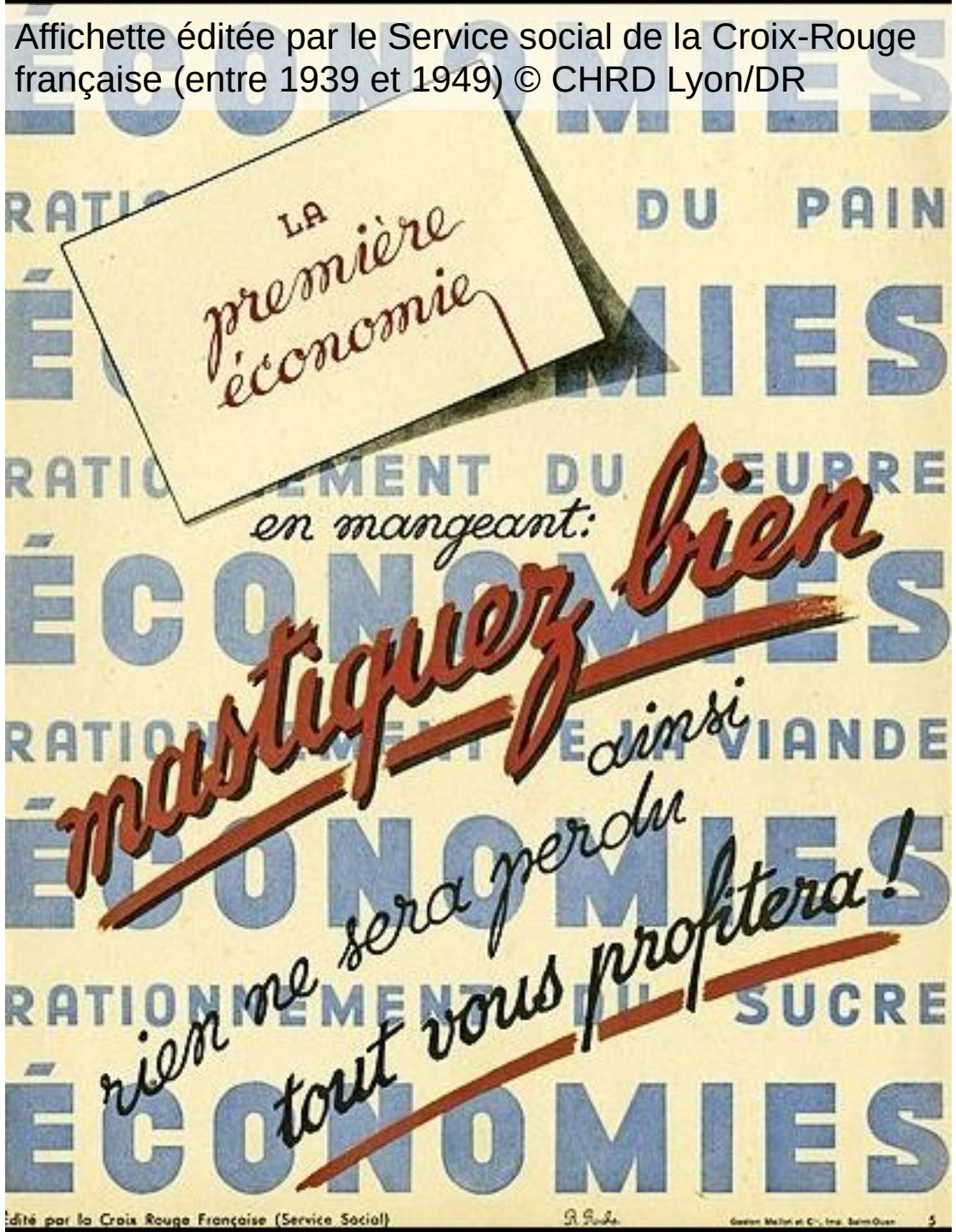
- L'alimentation doit être disponible en quantité suffisante
- L'alimentation doit être accessible physiquement et économiquement
- L'alimentation doit être saine et nutritive (qualité suffisante)
- L'alimentation doit être cohérente avec les préférences alimentaires
- Toutes ces conditions doivent être stables dans le temps

Sommet mondiale de l'alimentation, 1996

L'essentiel de l'augmentation démographique est derrière nous

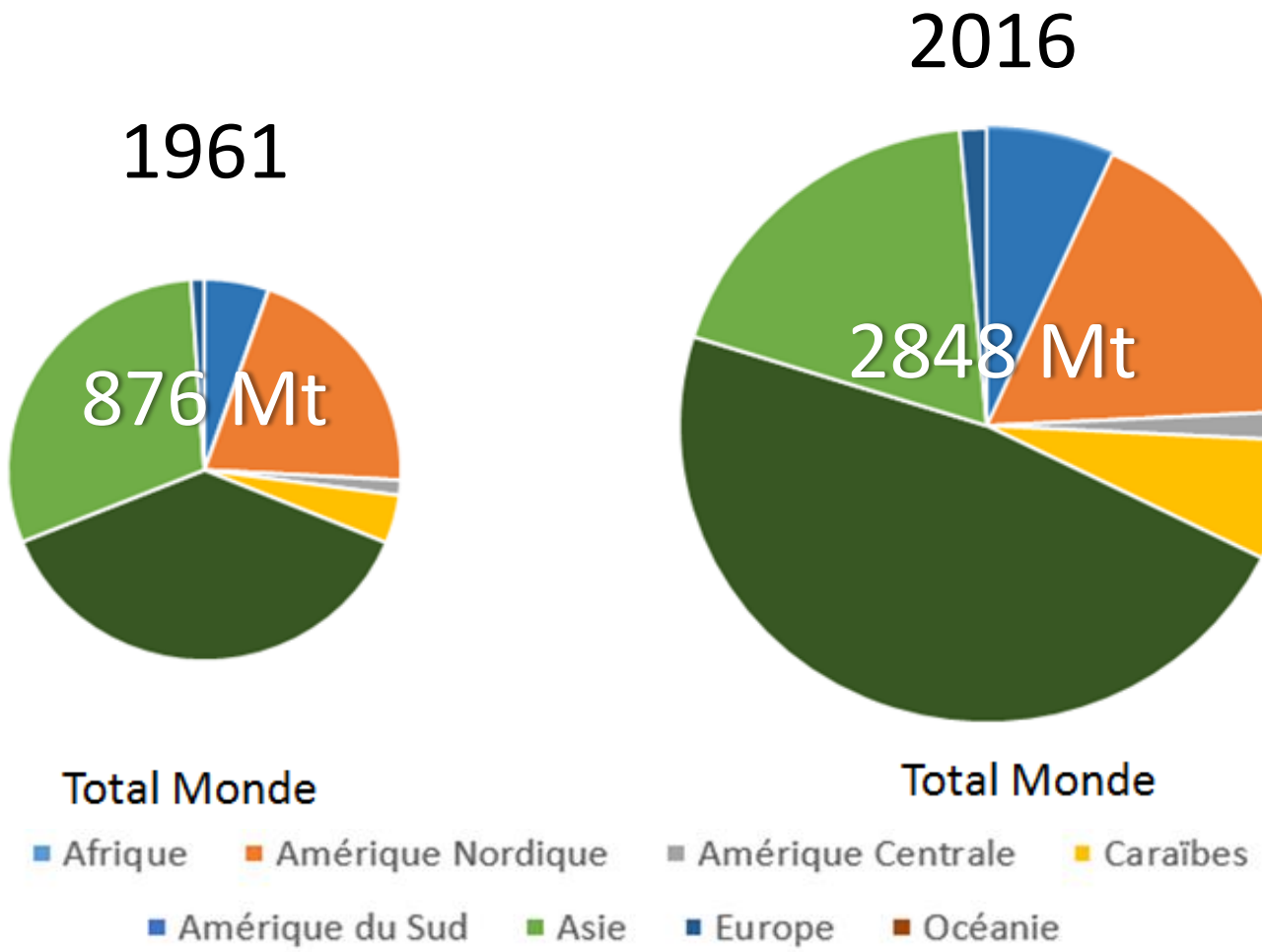


Source: United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2011). *World Population Prospects: The 2010 Revision*, http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm



Affichette éditée par le Service social de la Croix-Rouge française (entre 1939 et 1949) © CHRD Lyon/DR

Affichette éditée par le Service social de la Croix-Rouge française (entre 1939 et 1949) © Collections particulières. Photos Pierre Verrier.



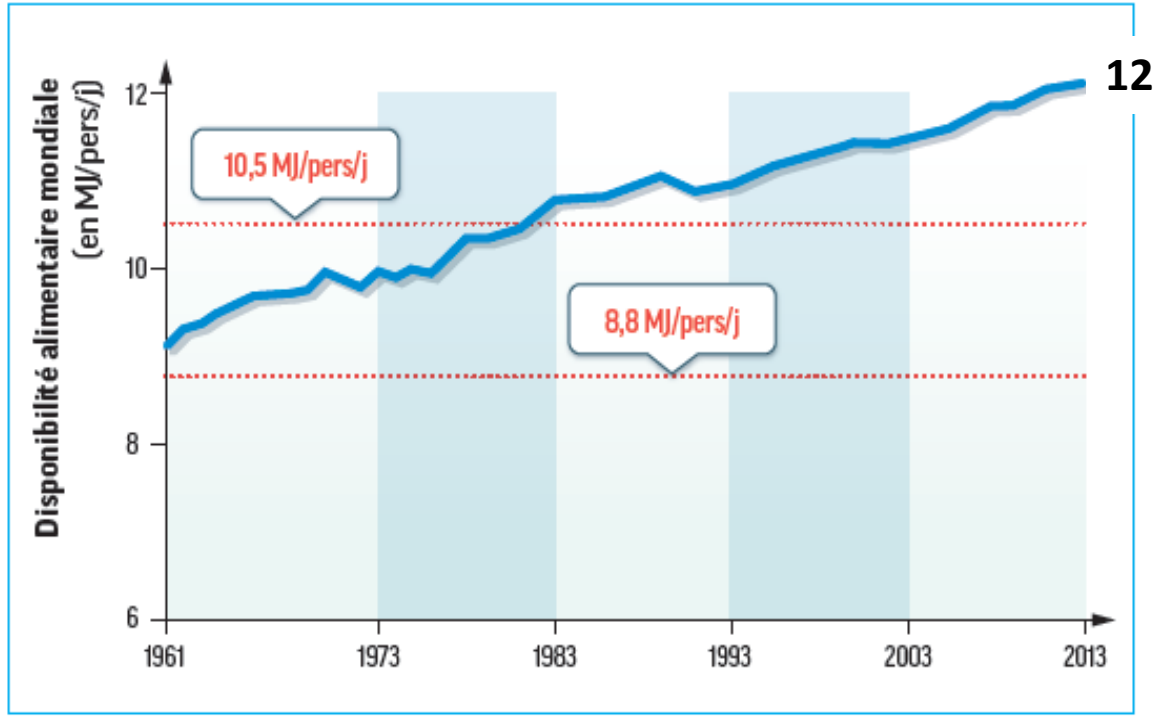
Répartition continentale de la production mondiale annuelle de céréales (en millions de tonnes)
(FAOSTAT, 2018)

… pour suivre l'explosion démographique

	Céréales produite en Millions de tonnes par an	Population mondiale en milliards	kg de céréales disponibles par humain par jour
1961	876	3,1	**0,774 kg**
2016	2848	7,4	**1,054 kg**
2050	?	10	**?**

Disponibilité alimentaire moyenne
(FAOSTAT, 2018)

… pour suivre l'explosion démographique



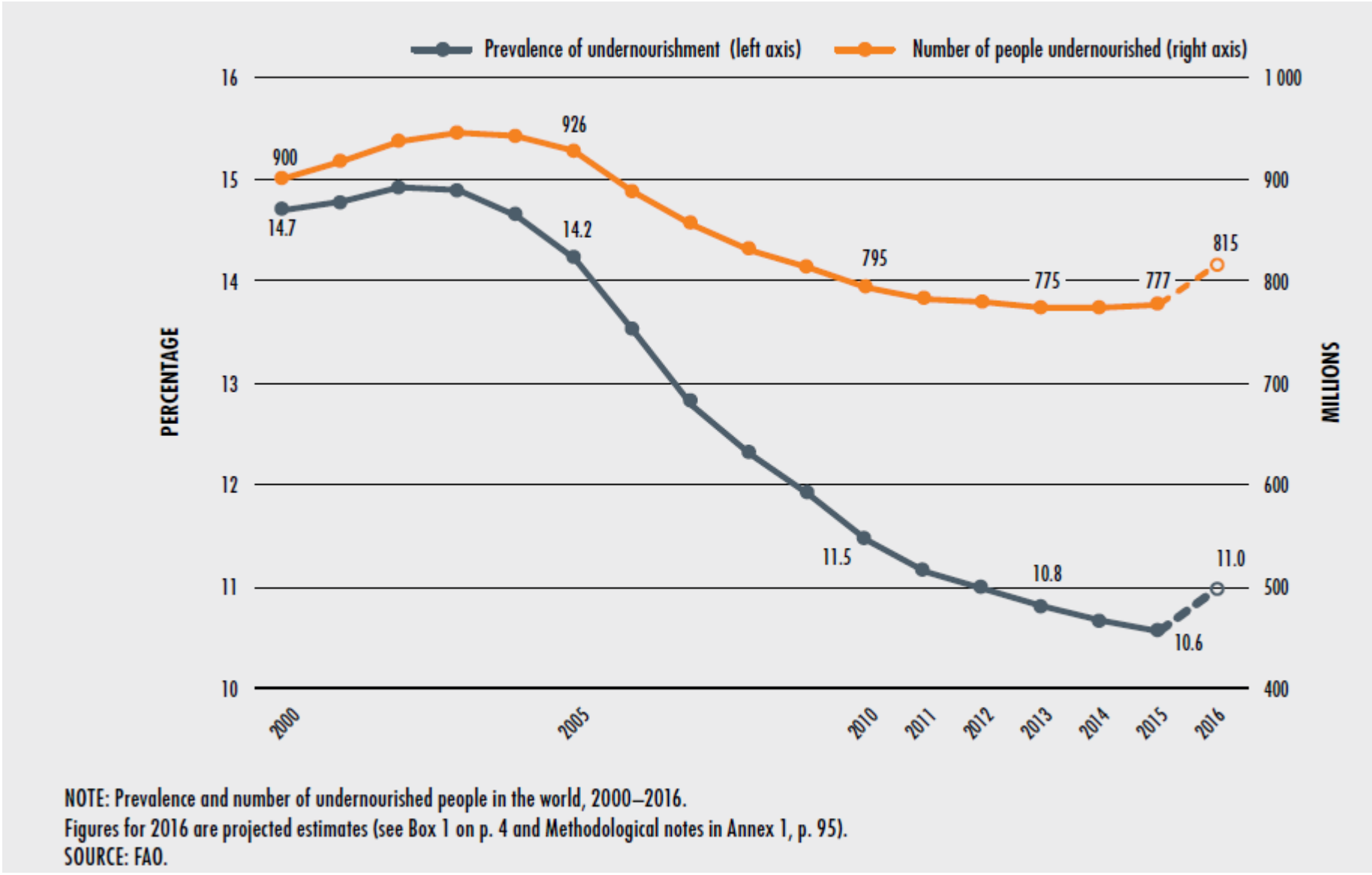
12 MJ soit 2870 kcal/pers/j

Doc. 1. Évolution de la disponibilité alimentaire (en MJ/pers/j) dans le monde entre 1961 et 2013. La disponibilité alimentaire moyenne globale est théoriquement suffisante pour nourrir toute l'humanité depuis les années 1980. Les besoins moyens en énergie alimentaire se situent aux alentours de 10,5 MJ/pers/j (2 500 kcal/pers/j). Le sous-apport calorique d'un individu est atteint en dessous du seuil moyen de 8,8 MJ/pers/j (2 100 kcal/pers/j) [8,12].

Disponibilité alimentaire moyenne

(FAOSTAT, 2016 *in* Le Défi Alimentaire, Belin, 2018)

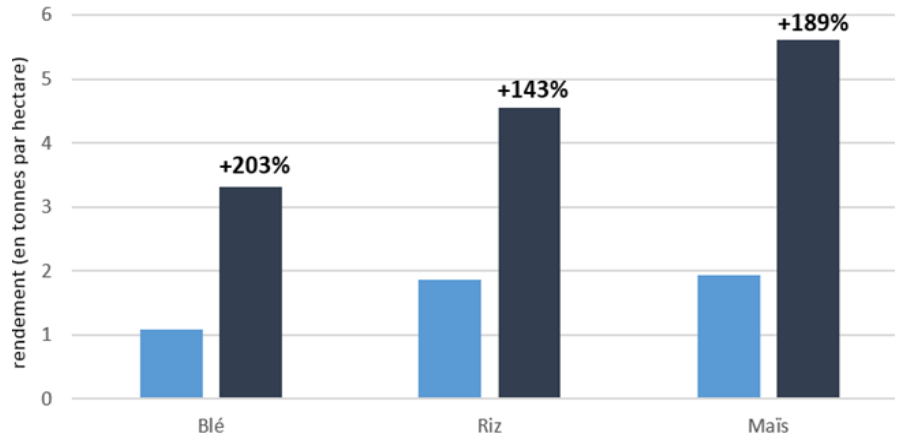
Une lente diminution du nombre de personnes sous- alimentées et une remontée récente



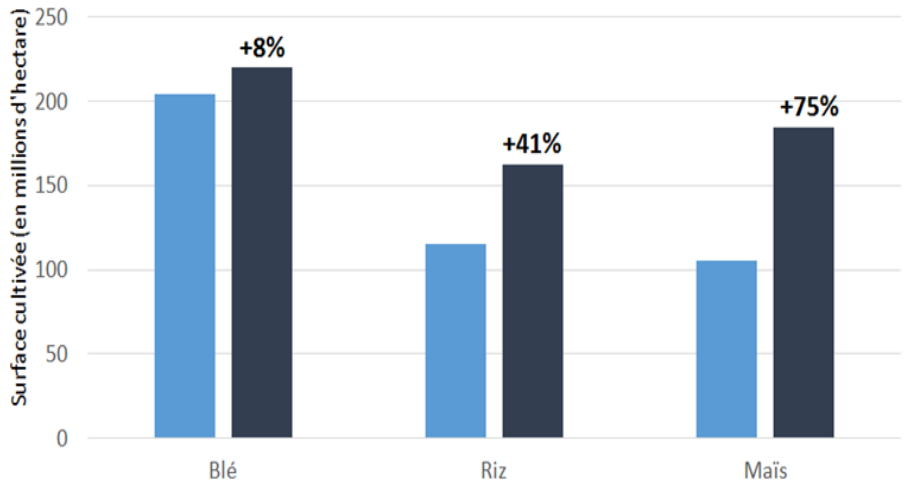
NOTE: Prevalence and number of undernourished people in the world, 2000–2016.
Figures for 2016 are projected estimates (see Box 1 on p. 4 and Methodological notes in Annex 1, p. 95).
SOURCE: FAO.

La croissance de la production agricole principalement due à l'augmentation des rendements

Rendement



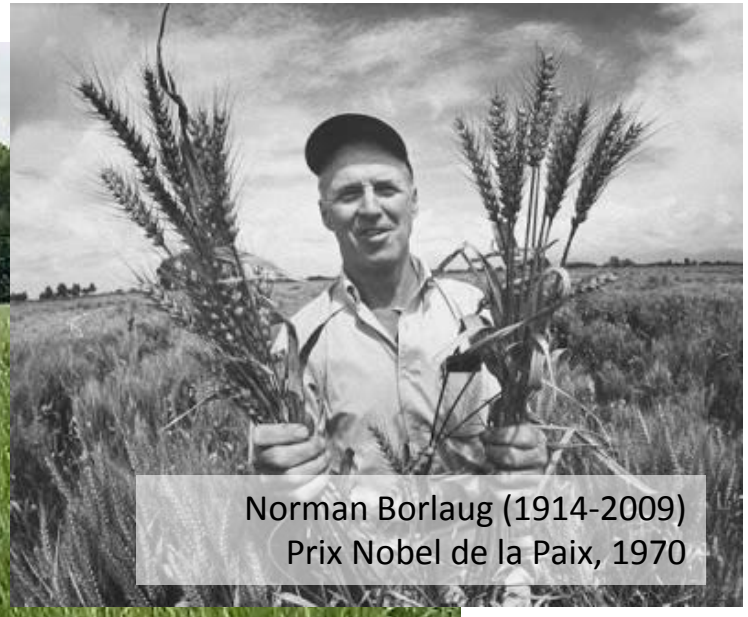
Surface



Blé Riz Maïs

Évolution des rendements et des surfaces cultivées à l'échelle planétaire pour les trois principales céréales depuis 1961.
FAOSTAT, 2017 *in* Le Défi Alimentaire, Belin, 2018**.**

Changements variétaux



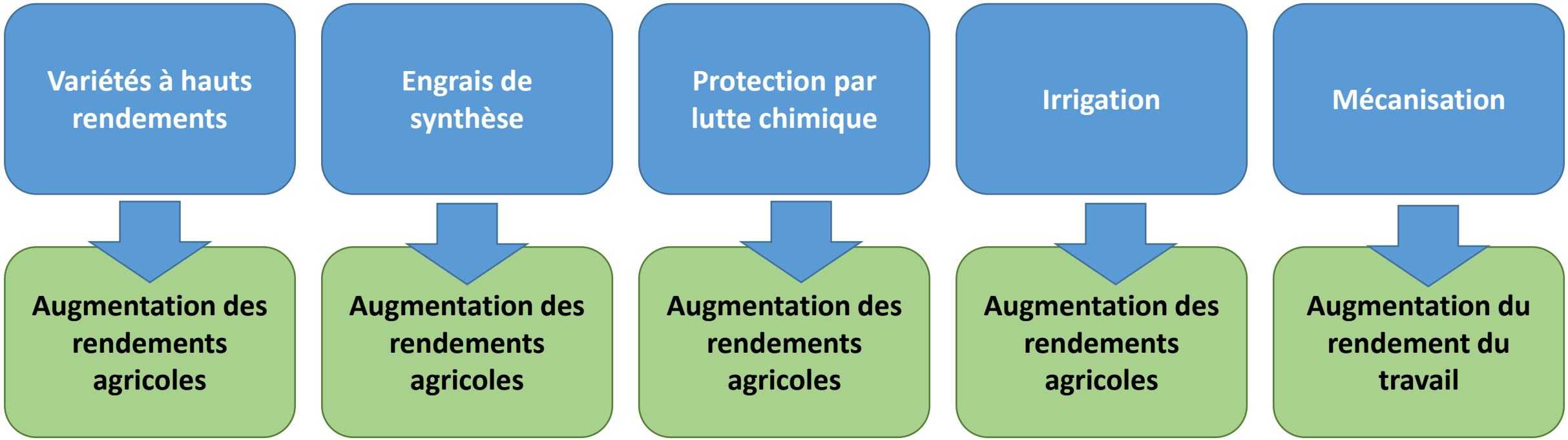
Norman Borlaug (1914-2009)
Prix Nobel de la Paix, 1970

Les gains de productivité apportés par la mécanisation

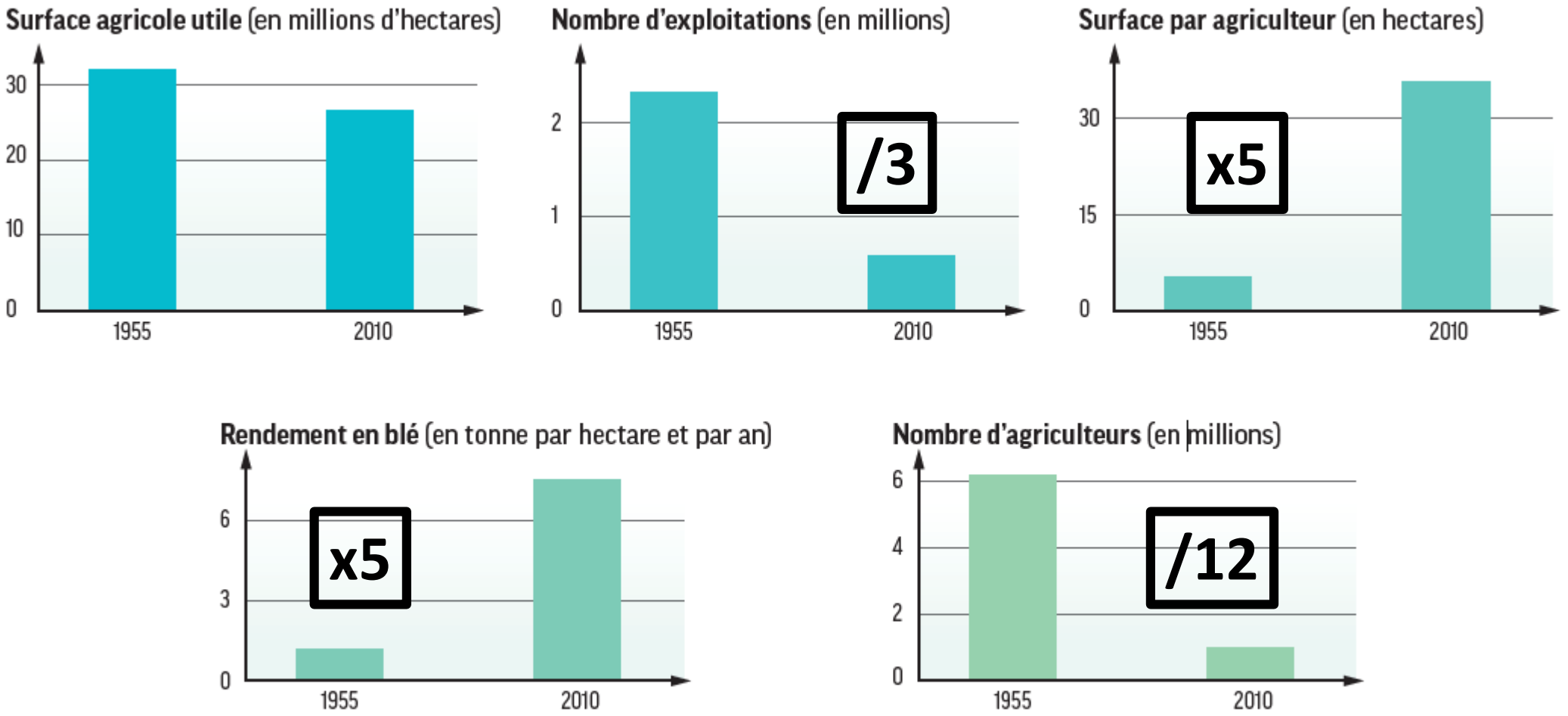
	1950	2010
Tâches mécanisées	Très peu (battage)	Toutes (ou presque)
Volume de carburant (récolte)	2 $L.ha^{-1}.an^{-1}$	100 $L.ha^{-1}.an^{-1}$
Nombre d'heures de travail	100 $h.ha^{-1}.an^{-1}$	3,5 $h.ha^{-1}.an^{-1}$
Rendement en grains	2 $t.ha^{-1}.an^{-1}$	7 $t.ha^{-1}.an^{-1}$

La récolte du blé en France

Les 5 leviers de la révolution du XXe siècle



L'agriculture française entre 1955 et 2010



Doc. 1. Évolution de quelques caractéristiques de l'agriculture française entre 1955 et 2010. La surface agricole utile (SAU) est la surface utilisée effectivement pour la production agricole (recensement de 2010, [21]).

Insee, Agreste, recensement agricole 2010 *in* Le Défi Alimentaire, Belin , 2018

Conséquences pour les ménages

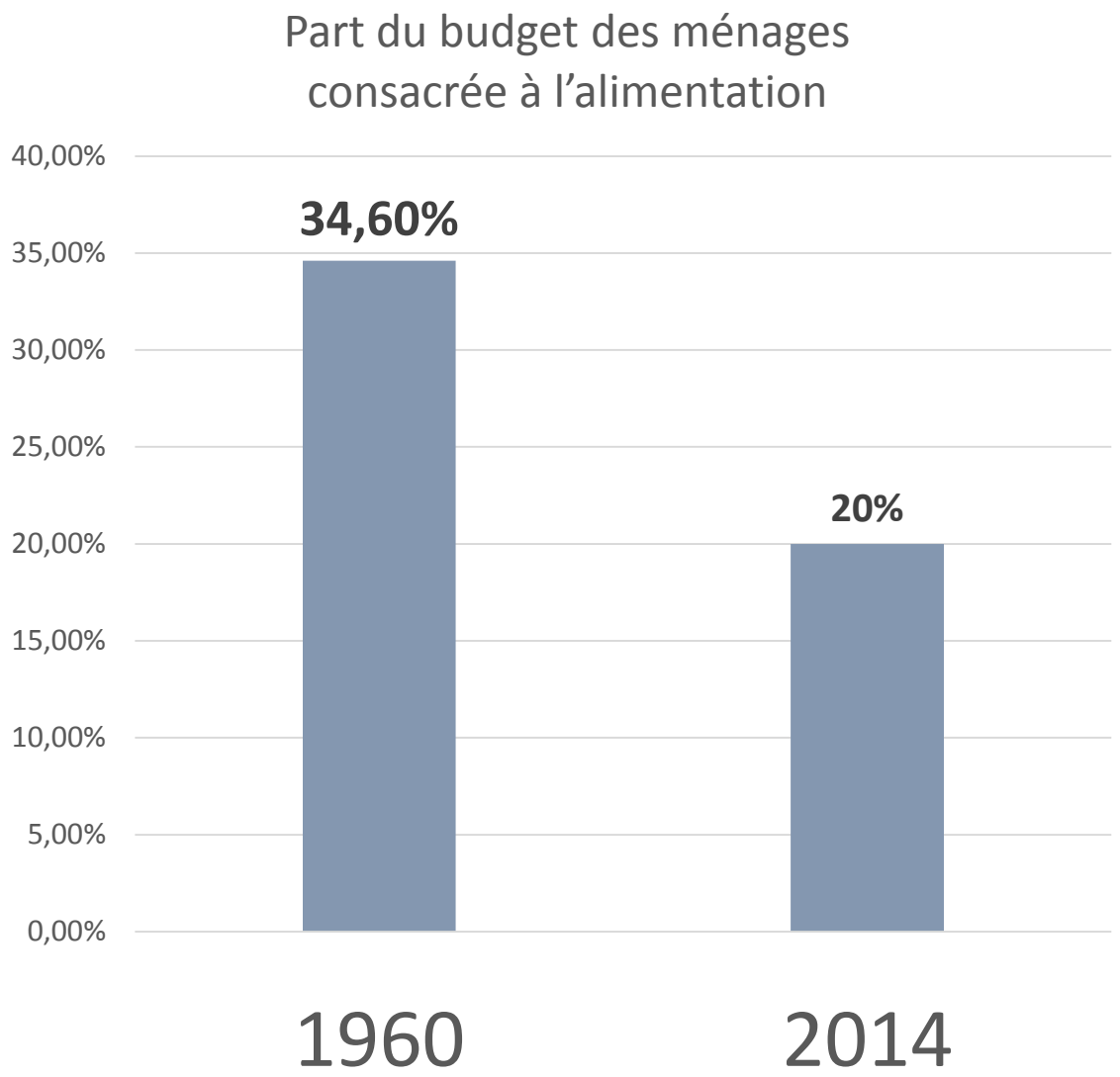


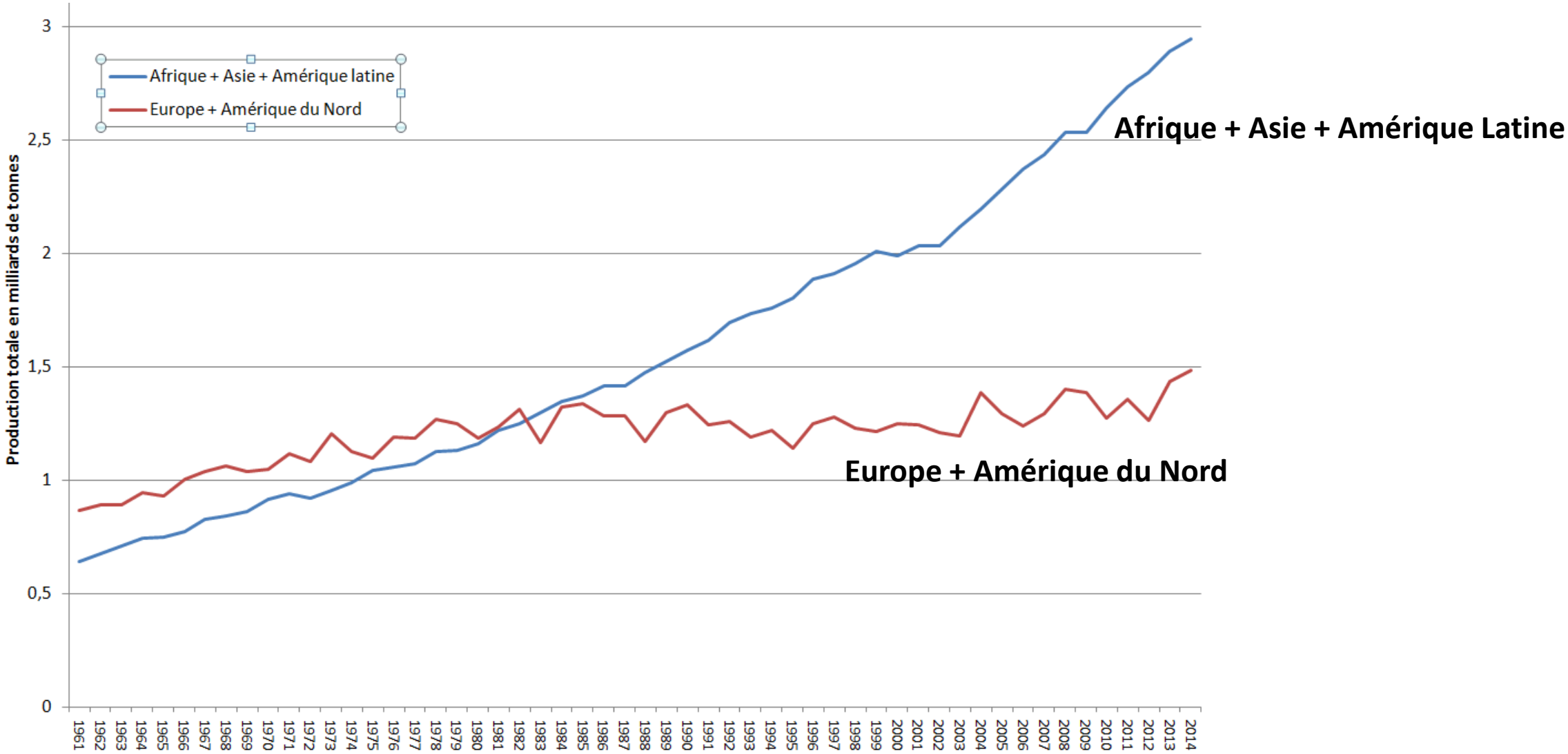
Photo : Chat_ 44. Ballade au supermarché, jeu de symétrie

Enjeu

La sécurité alimentaire

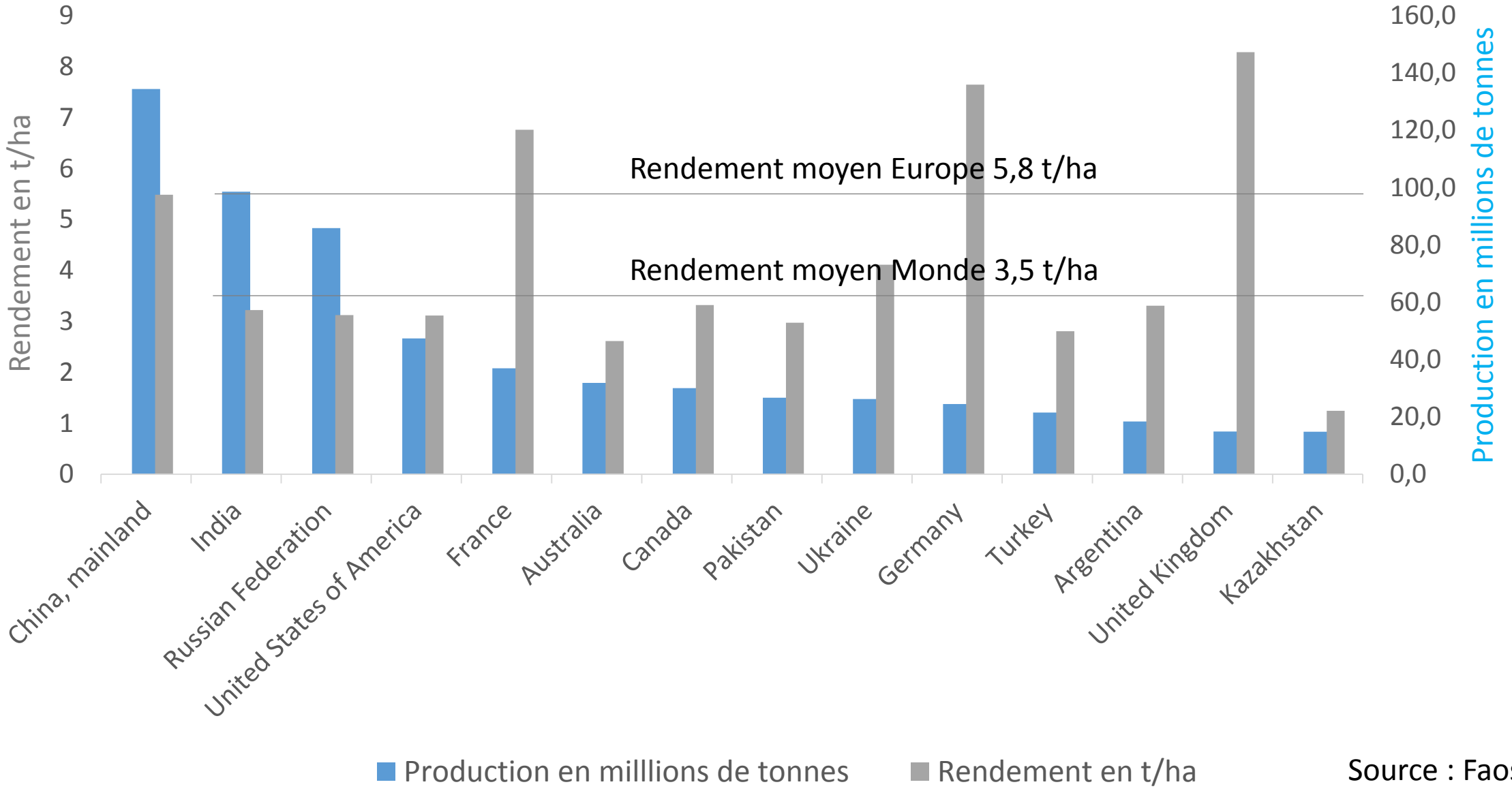
Quel avenir?

Des agrosystèmes pour nourrir les humains



Évolution de la production mondiale annuelle des principales cultures (céréales, légumineuses, racines et tubercules, fruits et légumes et oléagineux) de 1961 à 2014 (en milliards de tonnes). FAOSTAT 2017

Production et rendement en blé en 2017 pour les 15 pays plus gros producteurs



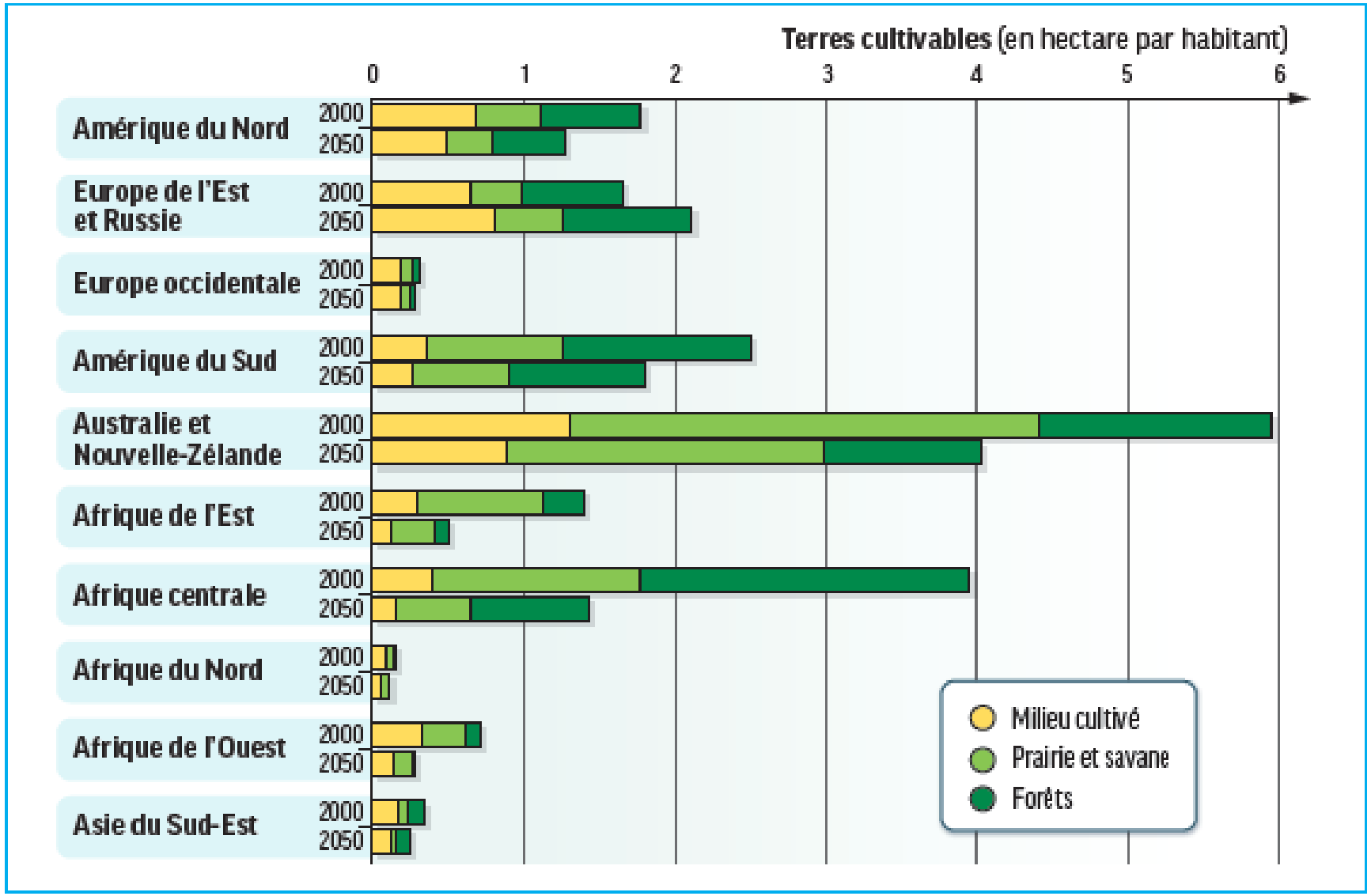
Source : Faostat, 2020

Affectation mondiale des terres émergées
Total : 13, 3 Gha

Répartition des terres émergées
(incluant les surfaces protégées)

Source : Le défi alimentaire, Rebulard, 2018 d'après base de données GAEZ

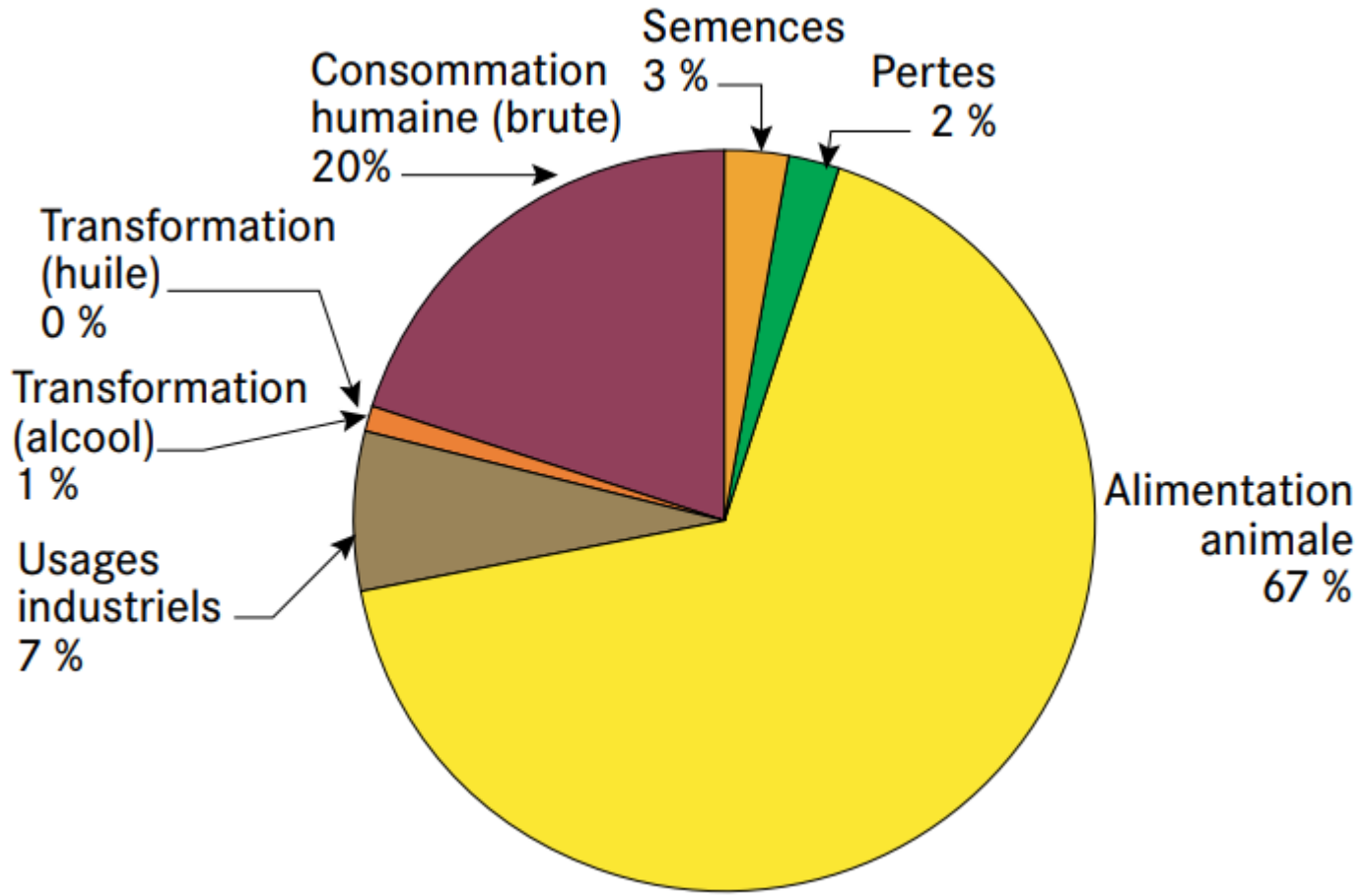
Disponibilité par habitant de terres cultivables



Doc. 7. Disponibilité de terres cultivables par habitant en 2000 et en 2050 pour différentes régions du monde.
Les couleurs indiquent l'usage actuel (en 2009) de ces terres cultivables : cultivées, occupées par des prairies et savanes ou par des forêts. On constate la très forte hétérogénéité des disponibilités actuelles ou futures selon les régions [58].

Source : Le défi alimentaire, Rebulard, 2018 d'après Fischer G., Hizsnyik E., Prieler S. & Wiberg D., 2010. Scarcity and abundance of land resources: competing uses and the shrinking land resource base. SOLAW Background Thematic Report 02. FAO, Rome.

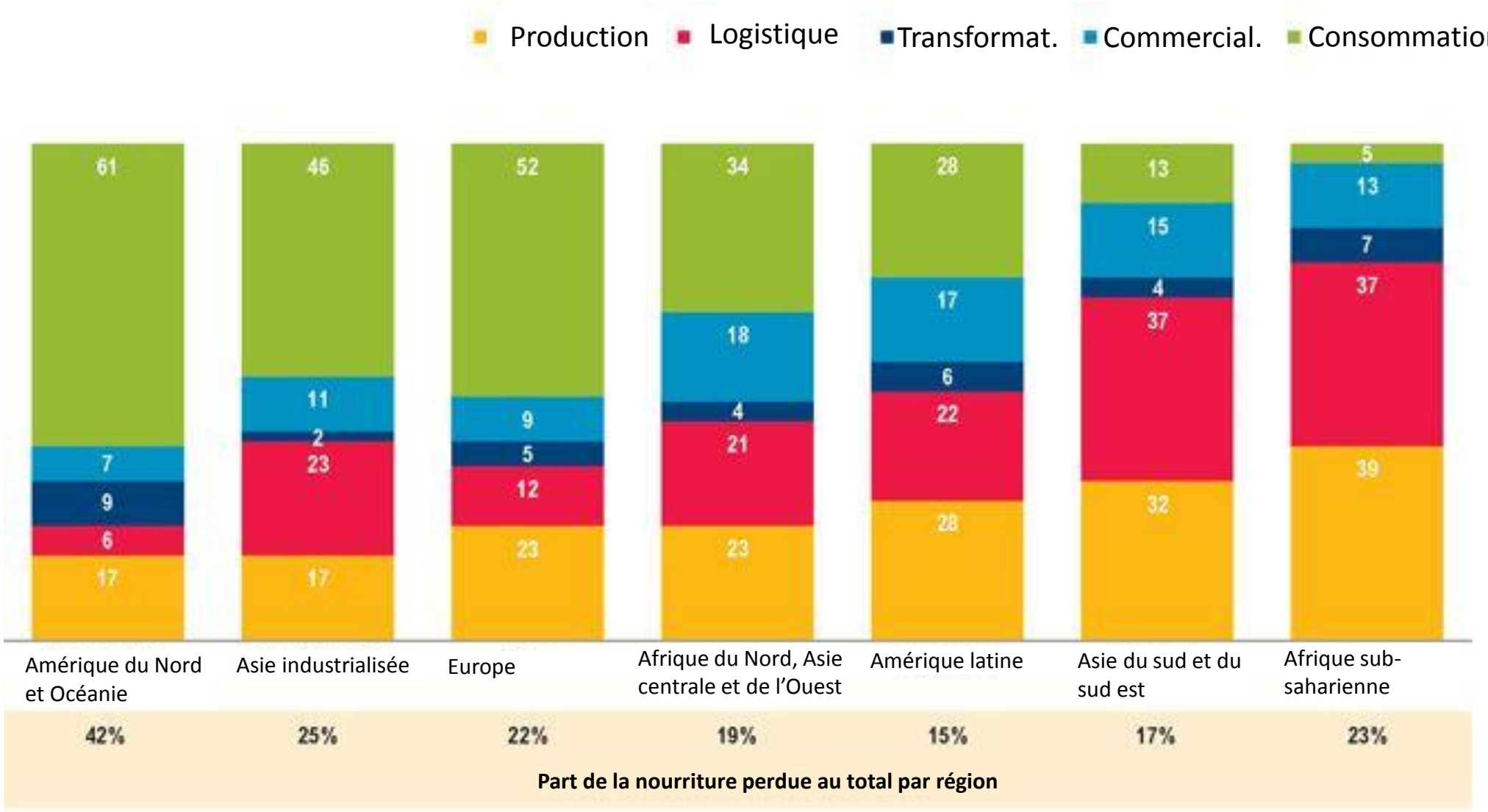
Ressources en terres : devenir des productions



Répartition des utilisations intérieures des céréales en France en 2007-2008

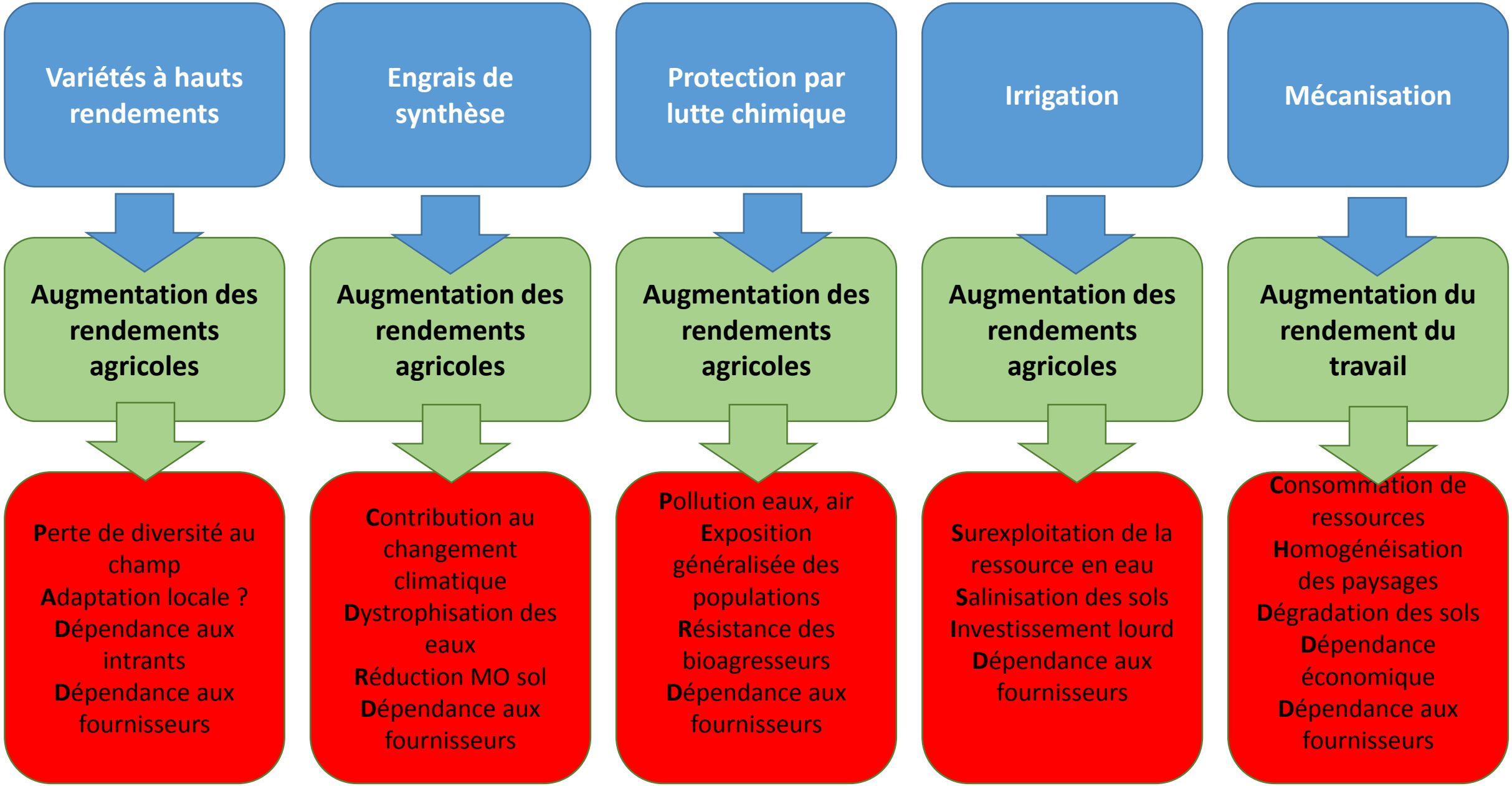
Poux, CEP, 2009

Répartition mondiale des pertes alimentaires : 30 % de la production agricole



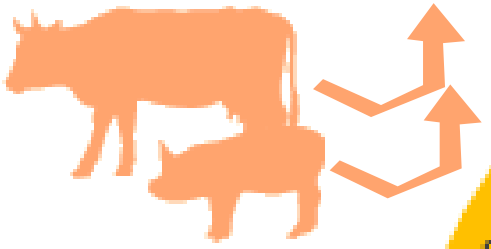
© World Resources Institute

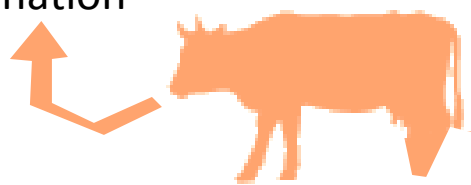
Les 5 leviers de la révolution du XXe siècle



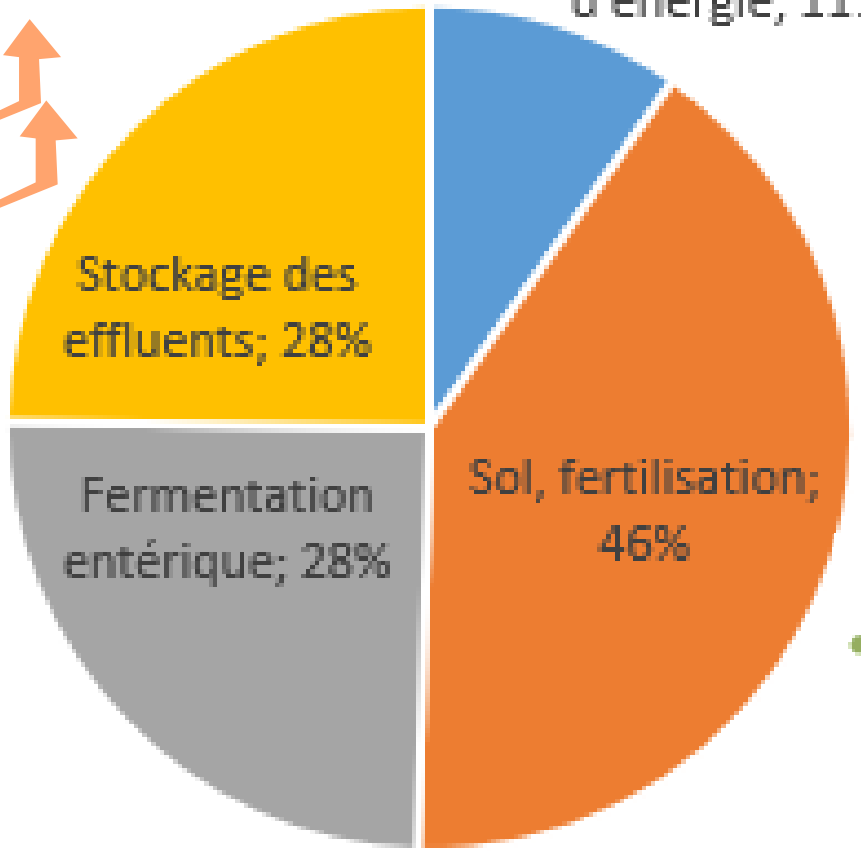
Emissions de GES de l'agriculture française
19% des émissions nationales totales

CH_4 ; N_2O
des déjections





CH_4 lié à la rumination



. Fabrication engrais de synthèse
. Carburants
. Chauffage serre

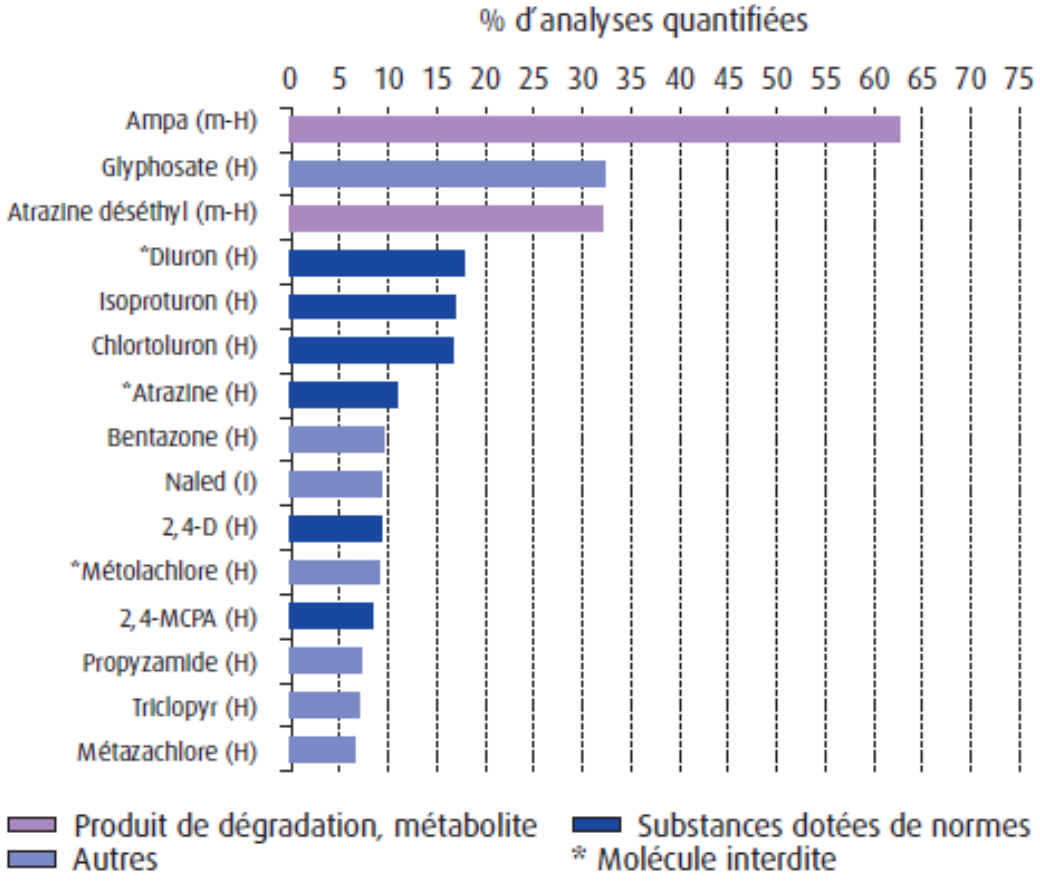
. Emission N_2O par engrais de synthèse
. Respiration de la matière organique des sol (CO_2)

Hors rizières et changement affectation sol (négligeables en France)

Source : Citepa, 2014

Exposition aux pesticides via l'environnement

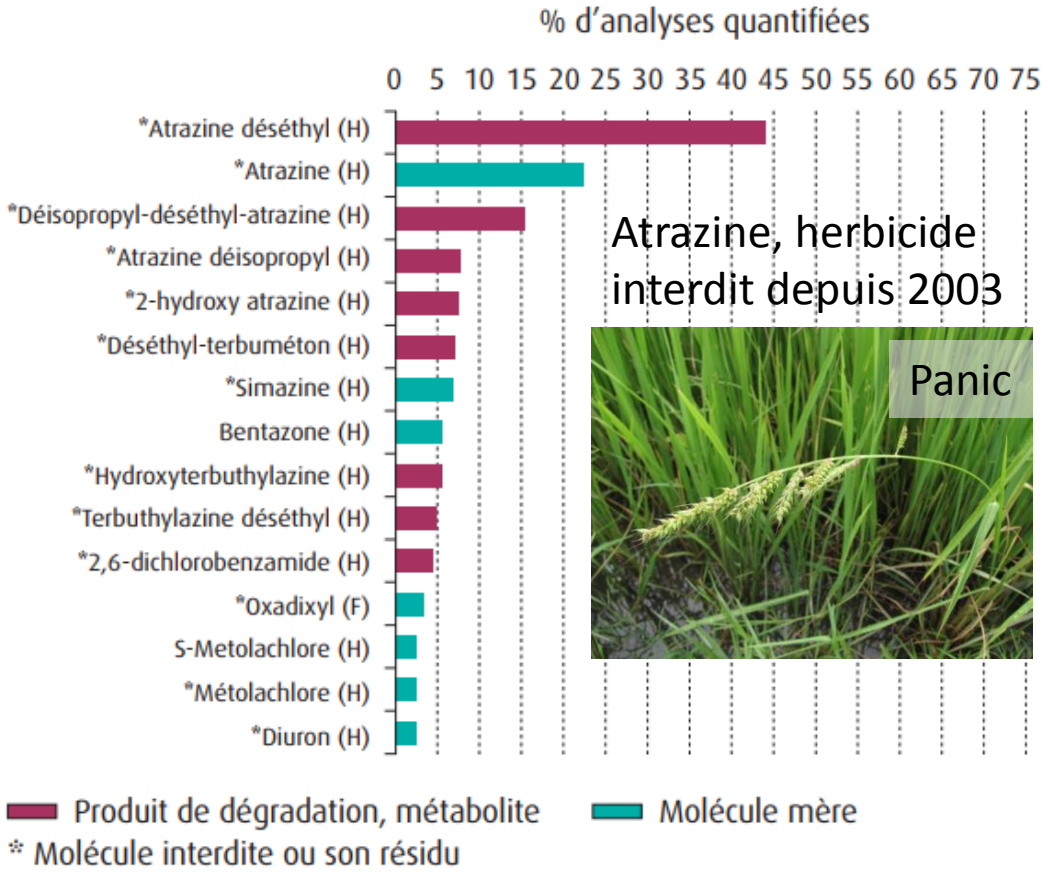
Figure 17 : pesticides les plus quantifiés dans les cours d'eau de France métropolitaine en 2011



Note : H : Herbicide ou son résidu, I : Insecticide, m : métabolite.

Sources : agences de l'Eau. Traitements : SOeS.

Figure 20 : pesticides les plus quantifiés dans les nappes de France métropolitaine en 2011

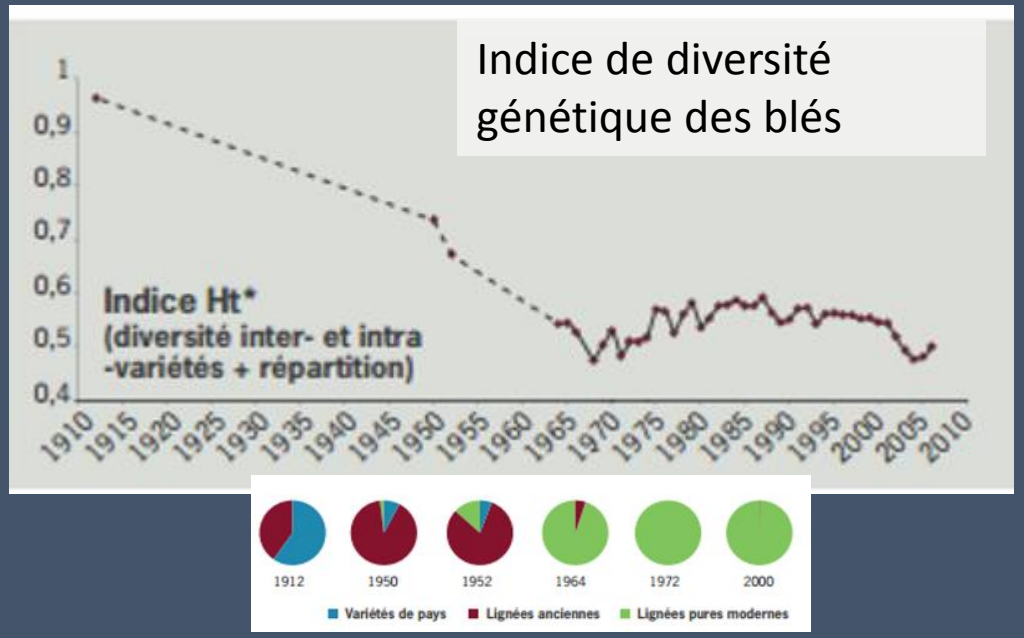


Atrazine, herbicide interdit depuis 2003

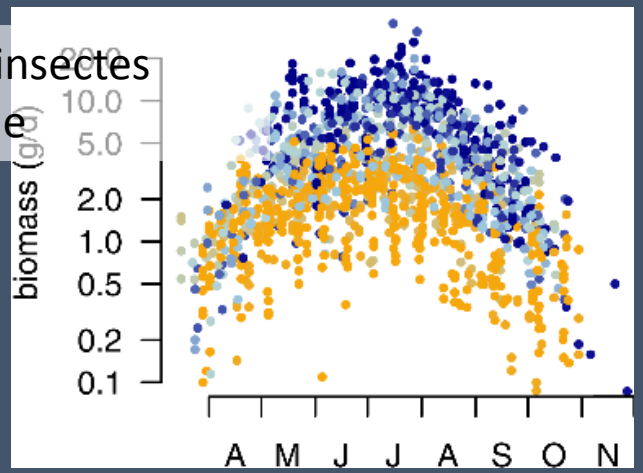
Note : H : Herbicide ou son résidu ; F : Fongicide.

Source : agences de l'Eau – BRGM, banque Ades – (réseaux RCS, RCO).
Traitements : SOeS, 2013.

Bilan environnemental négatif

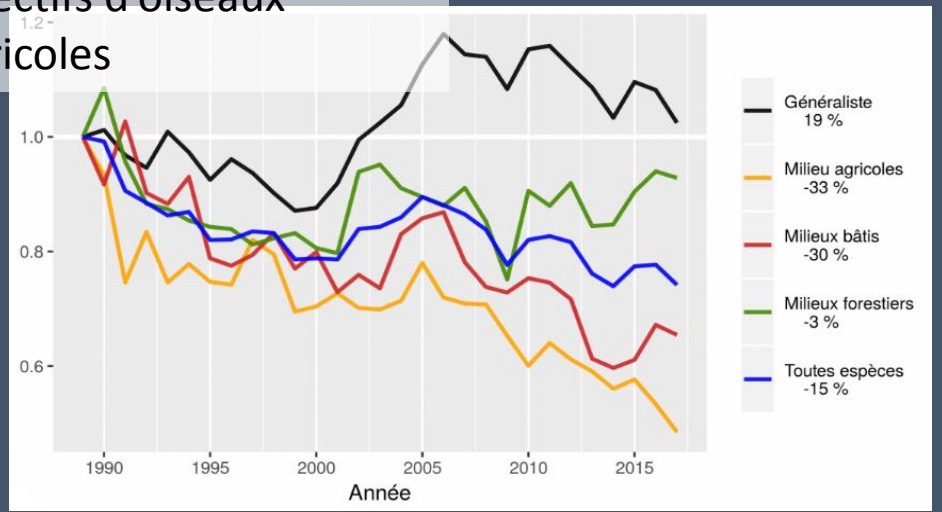


Biomasse d'insectes
En Allemagne



Distribution saisonnière de la biomasse d'insectes (en gramme /jour) dans des aires naturelles protégées d'Allemagne => **<u>75% de perte de biomasse en 27 ans.</u>**
Points bleus : 1989 / orange : 2016

Effectifs d'oiseaux agricoles



Variation des effectifs des populations d'oiseaux en France.

Qu’est ce que la durabilité des agrosystèmes ?

Assurer la sécurité alimentaire

Réduire les pertes et gaspillage

Renforcer la **confiance** entre les acteurs

Réduire l’exposition aux risques chimiques

Permettre aux producteurs de **vivre de leur travail**

Réduire les coûts

Simplifier les systèmes alimentaires

Renforcer l’autonomie des exploitations

Maintenir l’activité rurale

Accompagner les agriculteurs dans les évolutions à venir

Assurer **le bien être** des animaux

Maintenir et améliorer la **fertilité** des sols

Maintenir et favoriser la **biodiversité**

Exploiter pleinement les **ressources** disponibles et permettre leur renouvellement

Réduire les intrants externes

Réduire l’impact carbone des systèmes alimentaires

S’adapter au changement climatique

Développer des systèmes résilients (diversifiés notamment)

Réduire les pollutions (air, eau, sol)

Maintenir et renforcer et utiliser les **services écologiques**

Quelles agricultures pour demain ?

Les agricultures prétendant à la réduction des impacts environnementaux

Appellation	Pratiques caractéristiques	Pratiques et technologies utilisables			
		Travail profond du sol	Produits de synthèse (engrais et pesticides)	Pratiques agroécologiques	Commentaires
Agriculture de précision	Utilisation de technologies avancées pour limiter les quantités d'intrants utilisées.	Oui	Oui	Éventuellement, mais non contraignantes.	Augmentation des coûts de production. L'usage de certaines technologies est possible dans les autres types d'agriculture.
Agriculture de raisonnée	Ne traiter chimiquement que si les observations le nécessitent	Oui	Oui	Recommandées pour faciliter la réduction des usages de pesticides.	Définie par un référentiel.
Agriculture de intégrée	Approche systémique. Méthodes prophylactiques et alternatives de protection des plantes.	Oui	Oui	Oui et assez diversifiées.	Les pesticides ne doivent être utilisés qu'en dernier recours.
Agriculture de biologique	Pas de travail profond du sol (non labour), couverts végétaux, rotations culturales.	Non	Oui	Recommandées pour faciliter la réduction des usages de pesticides et augmenter la fertilité des sols.	Il existe des formes sans couverture des sols, fortement consommatrices d'herbicides totaux.
Agroforesterie	Présence des arbres dans les systèmes agricoles, y compris maraîchage ou grandes cultures.	Oui mais à éviter	Oui	Oui, la présence des arbres est elle-même une pratique agroécologique.	Compatible avec tous les modes de production, en particulier avec l'agriculture de conservation.
Agriculture de conservation	Ni produits de synthèse (engrais et pesticides), ni OGM.	Oui mais à limiter	Non	Recommandées pour éviter le recours aux biopesticides et augmenter la fertilité des sols.	Définie par des cahiers des charges et certifiée par un organisme extérieur.
Agroécologie	Approche systémique. Pratiques visant à rapprocher le fonctionnement de l'agrosystème de celui d'un écosystème naturel.	Oui mais à éviter	Oui mais peu recommandé	Toutes.	Les pratiques agroécologiques sont *a priori* utilisables dans tous les autres types d'agricultures.

In Le Défi Alimentaire, Belin, 2018

L’agriculture de précision

L'agriculture raisonnée

Référentiel de l'agriculture raisonnée (extraits)

Le référentiel de l'agriculture raisonnée a fait l'objet d'une publication au *Journal officiel* en 2002 (modifié en 2005, puis en 2007). Il regroupe plus d'une centaine d'«exigences nationales», touchant à l'ensemble des aspects du fonctionnement d'une exploitation agricole. Beaucoup de ces exigences tiennent du bon sens ou sont des rappels à la réglementation. D'autres «exigences nationales» touchent à la traçabilité, à l'enregistrement des opérations réalisées et au développement de bonnes pratiques professionnelles. Les exemples d'exigences nationales ci-après sont identifiés par leur numéro dans le référentiel [30]:

1 – Être abonné à au moins un journal d'information technique agricole ou à un service de conseil technique.

7 – Mettre à disposition des salariés des installations sanitaires en bon état (douches, lavabos, toilettes).

9 – Disposer des équipements de protection des utilisateurs pour la manipulation des produits phytosanitaires.

20 – Connaître les valeurs fertilisantes des engrais, des effluents d'élevage et des boues industrielles et urbaines utilisés.

33 – Conserver les produits phytosanitaires dans leur emballage d'origine avec leurs étiquettes.

37 – N'utiliser que des produits phytosanitaires bénéficiant d'une autorisation de mise sur le marché et autorisés pour les usages considérés, en respectant la dose homologuée.

53 – Participer aux actions complémentaires de prophylaxie[1] collective dans les zones où elles sont rendues obligatoires.

72 – Nettoyer régulièrement les aires de stockage des ensilages afin d'éviter toute contamination et enregistrer les opérations.

74 – Disposer d'une aération suffisante dans les bâtiments (bien-être des animaux).

98 – Non-destruction des espèces végétales et animales protégées.

1. La prophylaxie est un ensemble de mesures de prévention d'un risque (propagation d'une maladie par exemple).

In Le Défi Alimentaire

L'agriculture biologique

Productions végétales

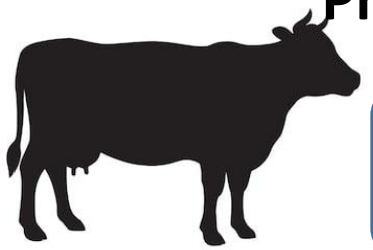
Pas d'intrants de synthèse

Fertilité maintenue par
- Engrais organiques
- Amélioration de l'activité biologique des sols

Lutte contre les adventices par
- Désherbage mécanique
- Rotation des cultures
- Leviers agronomiques (date de semis)

Lutte contre les ravageurs et maladies par
- Utilisation de variétés résistantes
- Lutte biologique
- Favorisation des auxiliaires
- Biopesticides

Productions animales



Pas d'élevage hors-sol

Surface sous abri par animal supérieure (1m² /100 kg min.)

Accès **au plein air** obligatoire avec des surfaces minimum (2 animaux /ha pour les bovins)

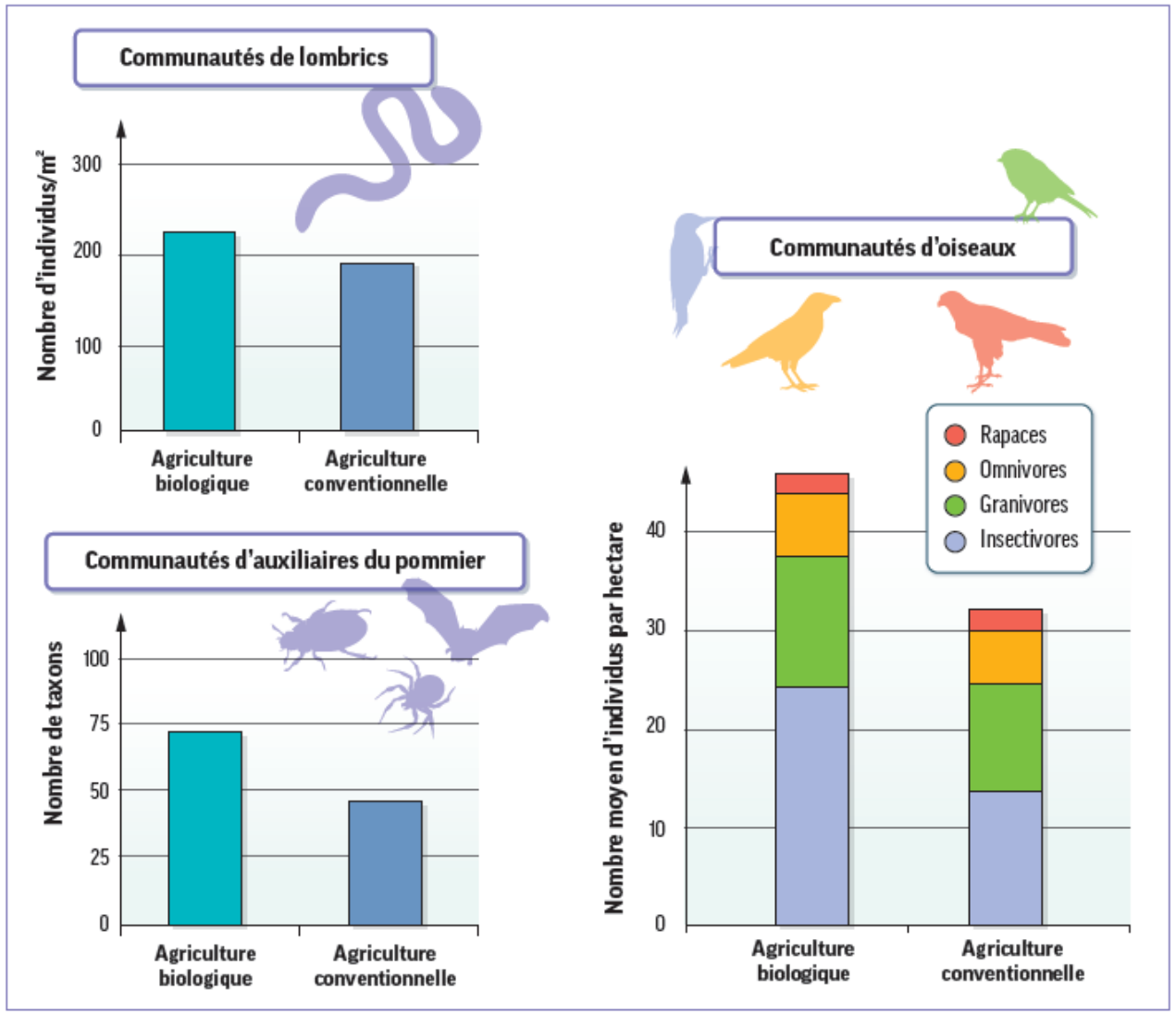
Alimentation bio obligatoire. Pâturage l'été, alimentation produite sur la ferme sauf dérogation

Poulet Standard
Abattage à 40 j
25 poulets par m² max.
Pas de plein air
Pas de contrainte sur l'alimentation

Poulet AB
Abattage à 81 j min.
10 poulets par m²
4 poulets/m² à l'extérieur
Alimentation 100% végétale dont 90% AB et 65% min. céréales

©Association Française d'Agroforesterie

Comparaison de l'agriculture biologique (AB) / par rapport à l'agriculture conventionnelle (AC) (méta-analyse)



Effet de l'agriculture biologique sur les communautés de lombrics, d'auxiliaires du pommier et d'oiseaux dans des vergers de pommiers des régions d'Avignon et de Valence (données collectées sur quatre années).

Sauphanor, B., Simon, S., Boisneau, C., Capowiez, Y., Rieux, R., Bouvier, J. C., ... & Toubon, J. F. (2009). Protection phytosanitaire et biodiversité en agriculture biologique. Le cas des vergers de pommiers. Innovations agronomiques, 4, 217-228

L’agroécologie : vers une agriculture multifonctionnelle

Vision réductionniste

Vs.

Vision holistique

Production
Pollinisation
Exploitation optimale des ressources disponibles (soleil, eau, sol)

Fertilité des sols
Stabilité structurale
Teneur en MO
Activité biologique
Recyclage de la MO

Protection des plantes
Régulation des populations de bioagresseurs

Potentiel récréatif
Avec ou sans prélèvement
Structure des paysages

Nutrition hydrique des plantes
Infiltration de l'eau
Rétention de l'eau

Nutrition minérale des plantes
Fourniture d'azote
Mise à disposition des nutriments présents
Rétention des éléments nutritifs

Climat
Stockage de carbone
Microclimat

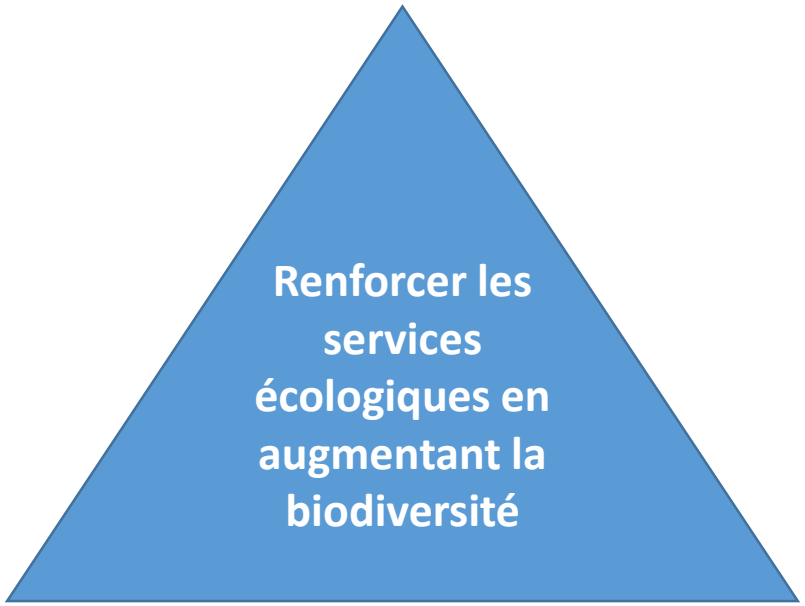
Autres Externalités positives
Réduction des pollutions (sols, eau, atmosphère)

Exemple de services écologiques associés aux agrosystèmes classés par catégorie

D'après Thérond *et al.*, 2017

Modification structurelle des agrosystèmes pour le maintien des services écologiques

Augmenter la diversité au champ dans le temps et dans l'espace

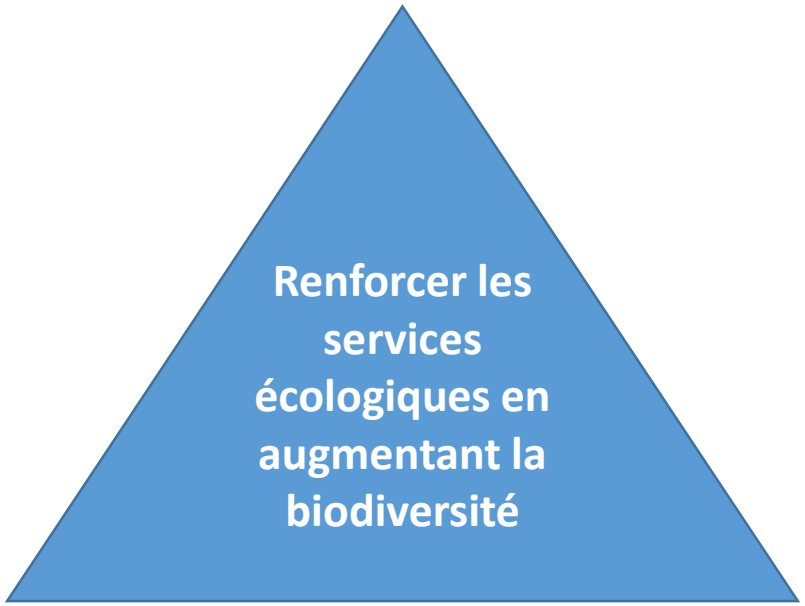


Réinstaller des habitats semi-naturels

Couvrir les sols

Modification structurelle des agrosystèmes pour le maintien des services écologiques

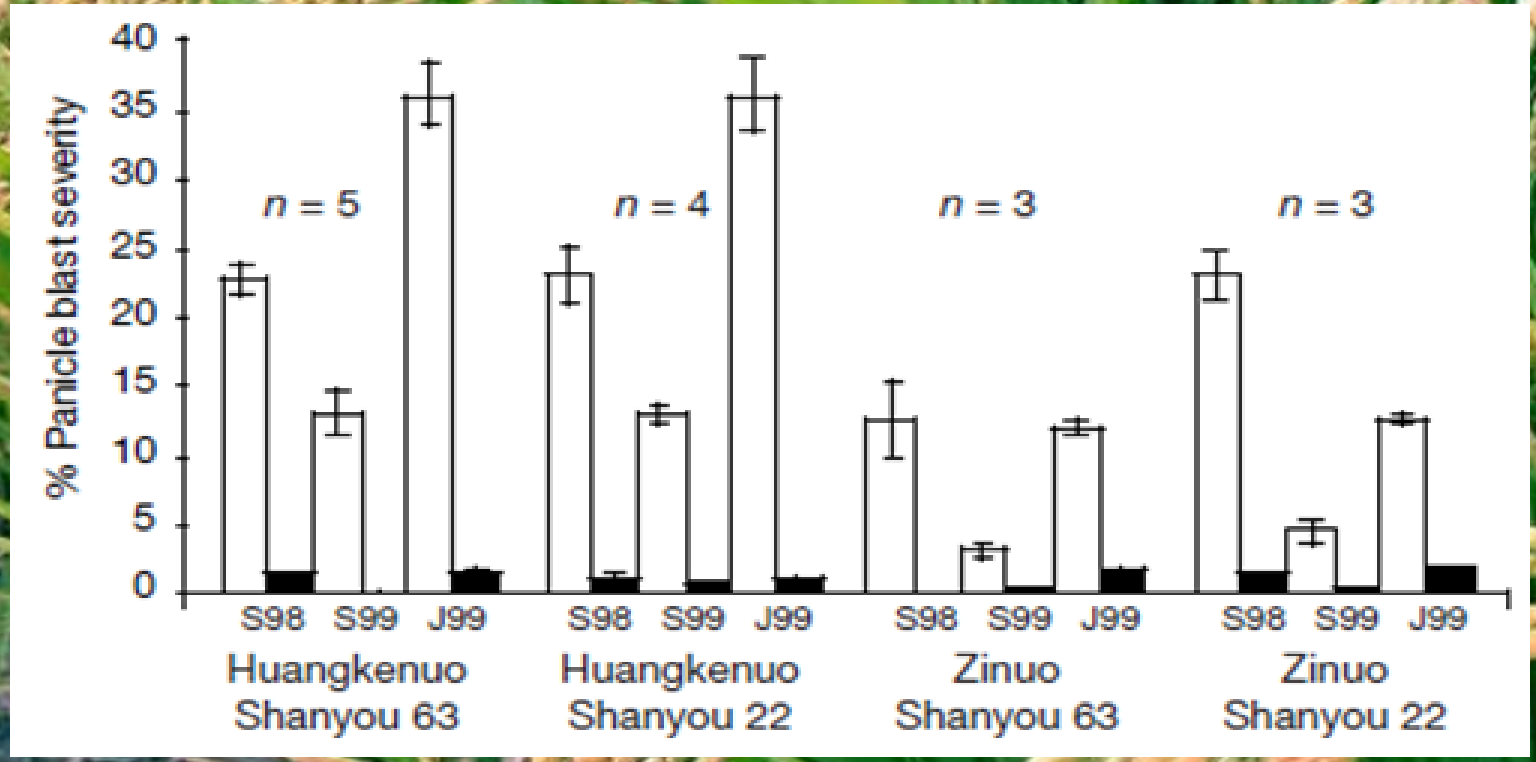
Augmenter la diversité au champ dans le temps et dans l'espace



Réinstaller des habitats semi-naturels

Couvrir les sols

Mélange variétal de riz



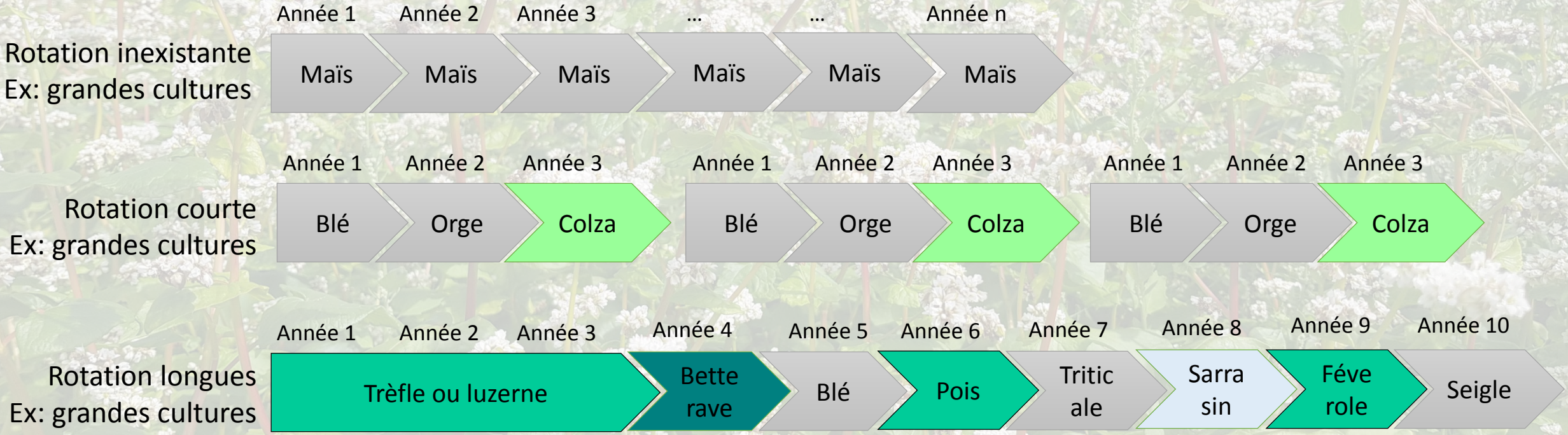
Barre blanches : variétés de riz sensibles au champignon (Huangkenuo et Zinuo) cultivées seules
Barres noires : variétés sensible (Huangkeno et Zinuo) en mélange avec des variétés de riz résistantes au champignon (Schanyou 63 et Shanyou 22)

Effet de la culture de variétés de riz en mélange sur la destruction des panicules de riz par un champignon.

Dans l'expérimentation réalisée dans la province du Yunnan (Chine), une variété de riz sensible au champignon (Huangkenuo) est cultivée seule (barres blanches) ou en mélange avec une variété de riz résistante au champig
Shanyou 63, barres noires). Le graphique représente plusieurs essais différents (S98, S99, J99). L'axe des ordonnées donne le pourcentage de panicules de la variété sensible détruits par le champignon par rapport au nombre t
de panicules de la variété sensible récoltés.

Zhu, 2000

Le retour des rotations longues



- 90% des rotations en grandes cultures, en France, présentent des céréales à paille (blé et orge principalement), en alternance la plupart du temps avec des oléagineux (colza, tournesol).
- Seules 10 % des rotations intègrent des légumineuses (25 % en agriculture biologique)
- Les monocultures sur plusieurs années ne sont pas rares : un cinquième de la surface de maïs française est en monoculture depuis 2006. Cette proportion approche les 50 % en Aquitaine et en Alsace.

Photo S.Rebulard

Meynard, 2013

Complémentarité des espèces dans une rotation longue

Rotation longues
Ex: grandes cultures

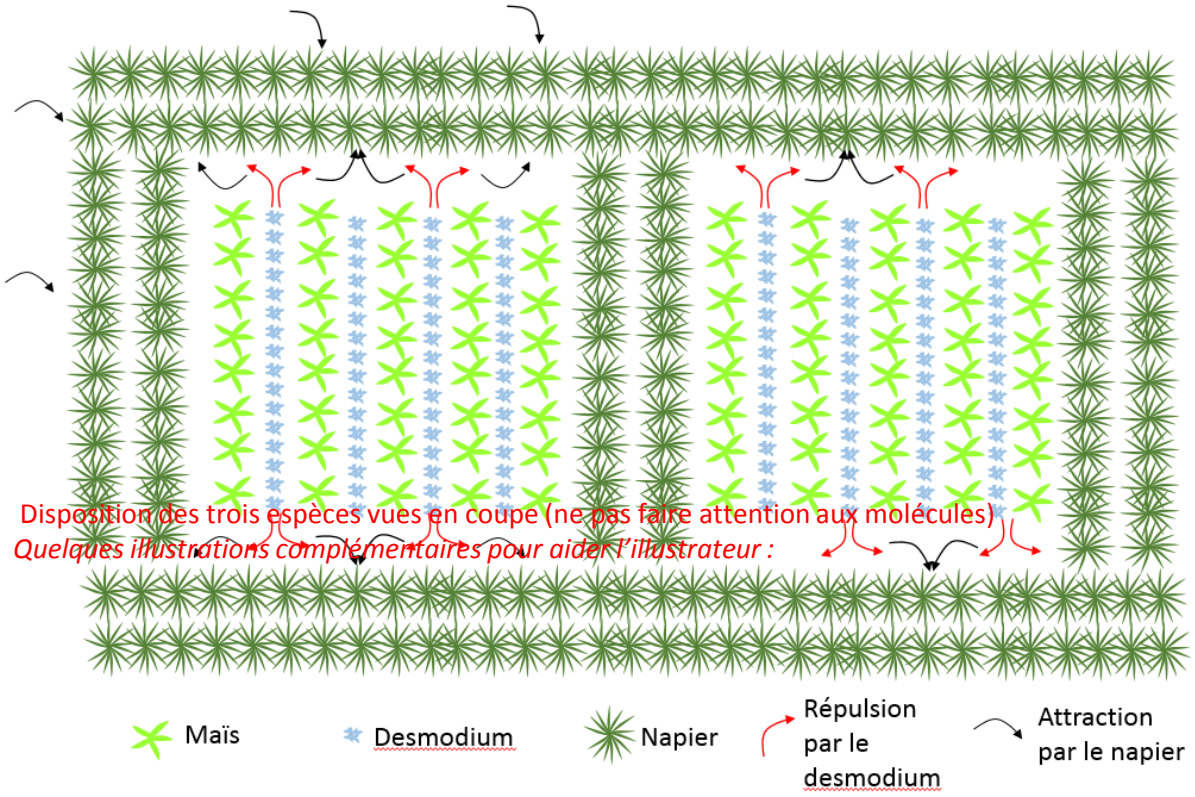
Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10
Trèfle ou luzerne			Bette rave	Blé	Pois	Tritic ale	Sarra sin	Féve role	Seigle

- Trèfle ou luzerne : Stockage d'azote et de MO dans le sol « Nettoyage » du sol
- Bette rave : Bonne utilisation de l'azote Peu rustique
- Blé : Exigence en azote Peu rustique
- Pois : Stockage azote
- Tritic ale : Décompaction du sol
- Sarra sin : Culture nettoyante
- Féve role : Stockage azote
- Seigle : Culture nettoyante Espèce rustique

+ cycles des bioagresseurs perturbés
+ complémentarité nutritionnelle des plantes
+ diversification nutritionnelle alimentation humaine

Photo S.Rebulard

Système d'attraction/répulsion (Push/Pull)



Disposition des trois espèces vues en coupe (ne pas faire attention aux molécules)

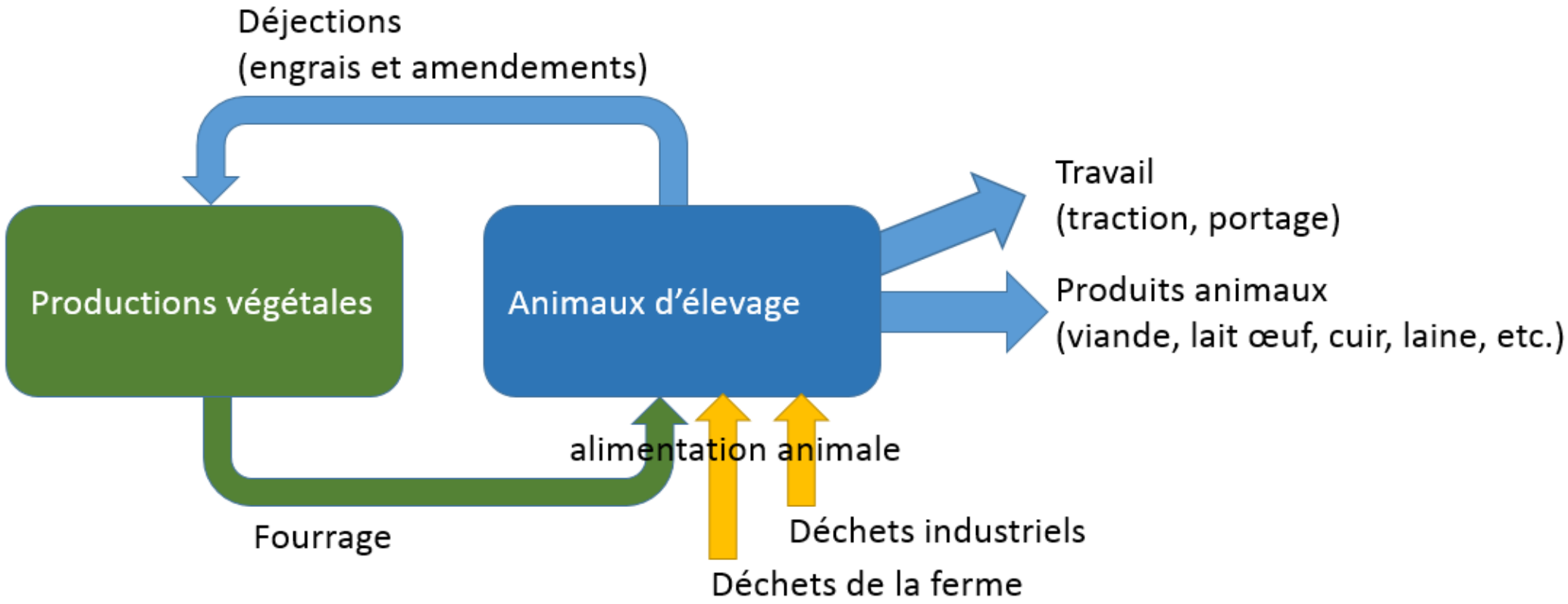
Quelques illustrations complémentaires pour aider l'illustrateur :

Desmodium sp.

Napier ou herbe à éléphant

Configuration d'une culture de maïs en Push-Pull au Kenya. Dans cette pratique récente (2000), deux plantes de services sont associées à la culture principale. Les pyrales adultes (papillon ravageur) sont repoussées par les desmodium (*Desmodium uncinatum,* légumineuse) et attirés par le napier (*Pennisetum purpureum,* Poacées). Leurs larves restent piégées dans la sève collante de ce dernier. Le desmodium produit également des substances toxiques pour le striga (plante parasite du maïs). Ces deux cultures de services associées au maïs peuvent être utilisées pour le fourrage des animaux. Le desmodium est notamment riche en protéines. Les rendements en maïs passent de 2t/ha à 5,5t/ha. Khan *et al.,* 2000 & 2005.

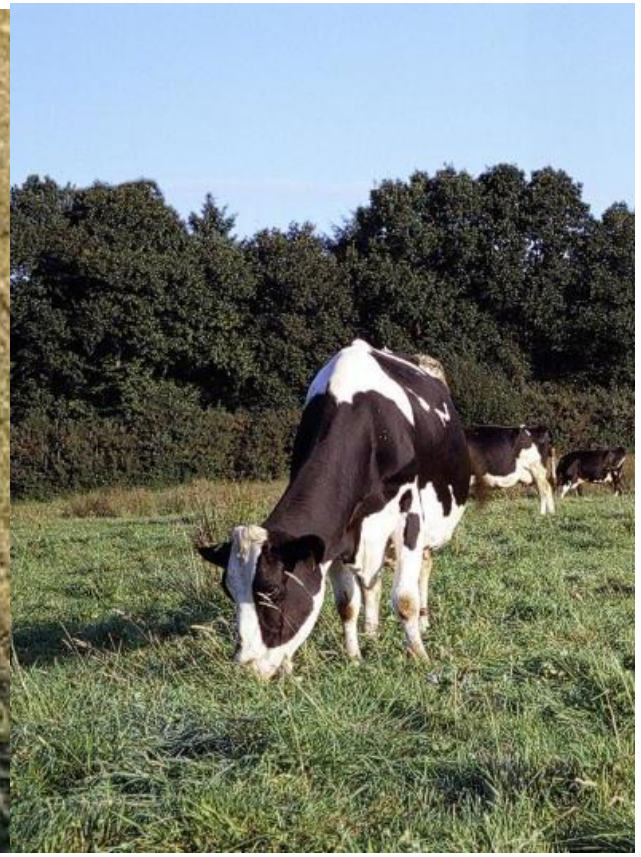
Complémentarité élevage / production végétale



Place historique de la production animale en agriculture.

Jusqu'au XIXe siècle les animaux fournissaient surtout du travail et des engrais. Les animaux étaient précieux et leur viande était consommée exceptionnellement. Ils étaient alimentés sur les surfaces les moins productives (landes, pelouses pauvres, etc.). Leur alimentation traditionnelle était complétée par les déchets de la ferme. Avec le développement de l'industrie agro-alimentaire, fin du XIXe, les déchets de celle-ci (vinasse de betterave, tourteau de tournesol, etc.) ont été utilisés dans l'alimentation. L'élevage spécialisé sur certaines productions (lait, viande) s'est développé au XXe siècle.

Comparaison de l'alimentation de vaches laitières bretonnes

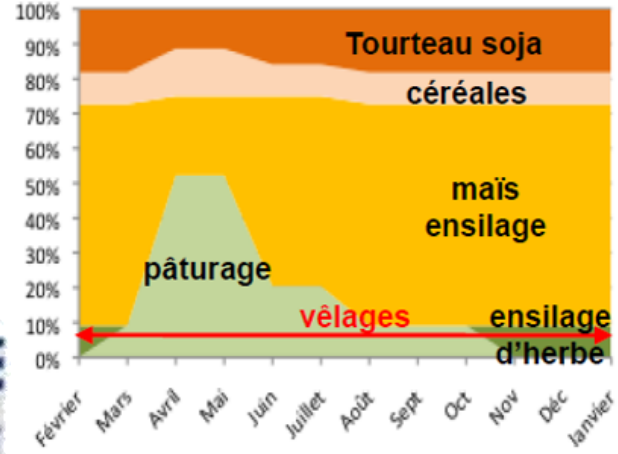


Comparaison de l'alimentation des vaches laitières dans deux élevages bretons, l'un conventionnel, l'autre herbager en agriculture biologique (AB).
Dans le système conventionnel, 20% de la ration des animaux sont constitués de soja acheté, le maïs ensilage produit sur la ferme nécessite beaucoup de travail. Dans le système herbager AB, 100% de l'alimentation est produite sur l'exploitation (associations à base de poacées+légumineuses dans des prairies de plus de 15 ans). Une part importante n'étant pas récolté mais consommée sur place par les animaux (pâturage 10 mois/12). Malgré une production brute à l'hectare plus importante en conventionnel (+32%), la valeur ajoutée en herbager AB est supérieure (+118%). Un demi-emploi supplémentaire peut être rémunéré. Ceci s'explique par un prix de vente du lait AB plus élevé mais surtout par une production des aliments très économes.

Devienne, 2017

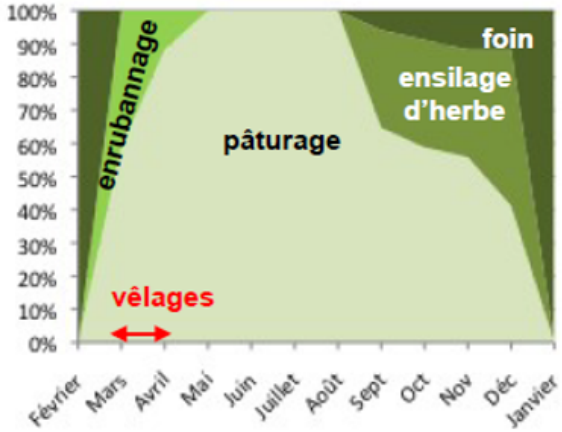
Comparaison de l'alimentation de vaches laitières bretonnes

Elevage laitier conventionnel



Surface	**40 Ha**
Taille troupeau	30 vaches laitières
Production lait/vache	9500 – 10000 L/an
Nombre d'emploi	1

Elevage AB herbager

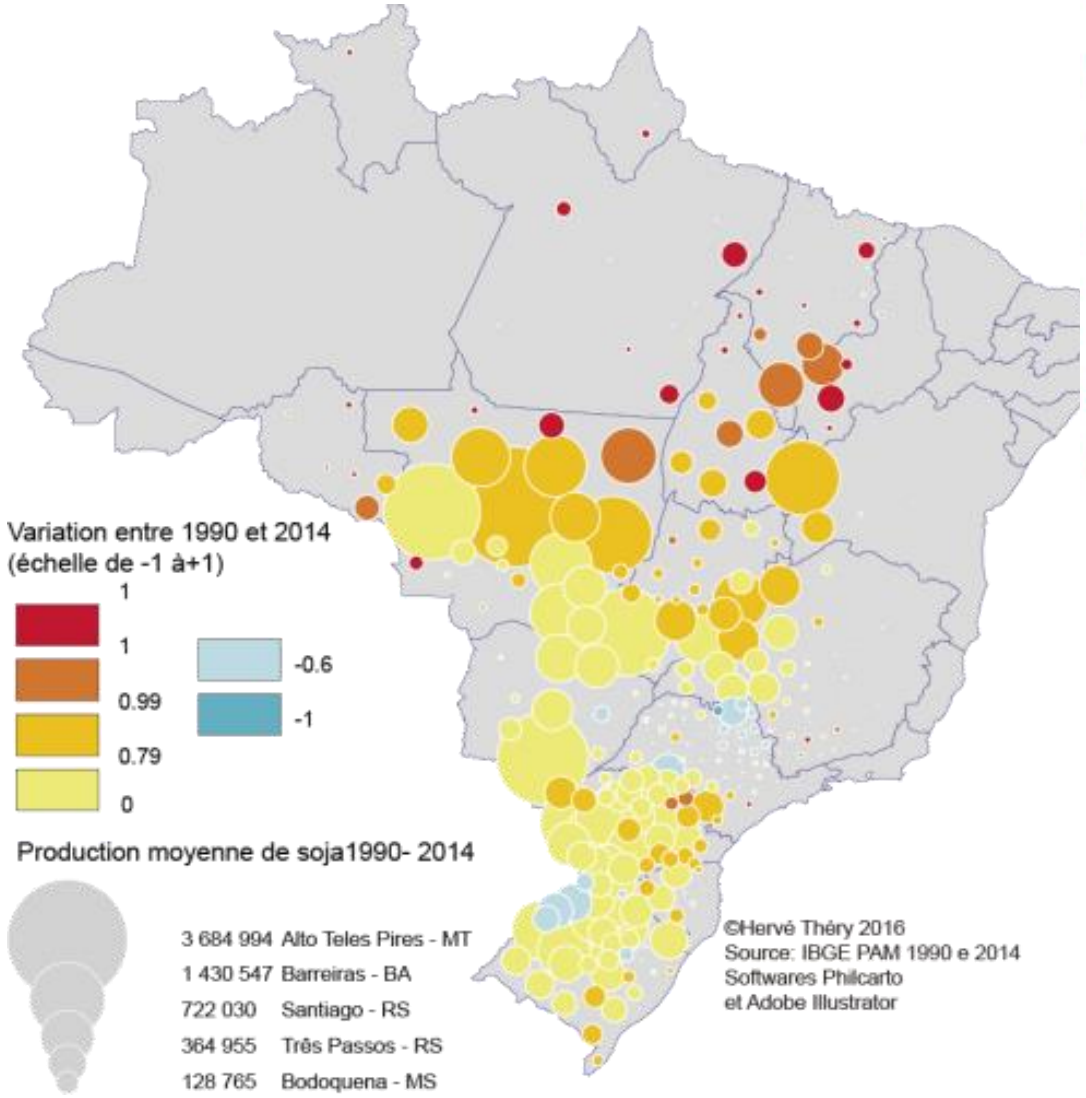


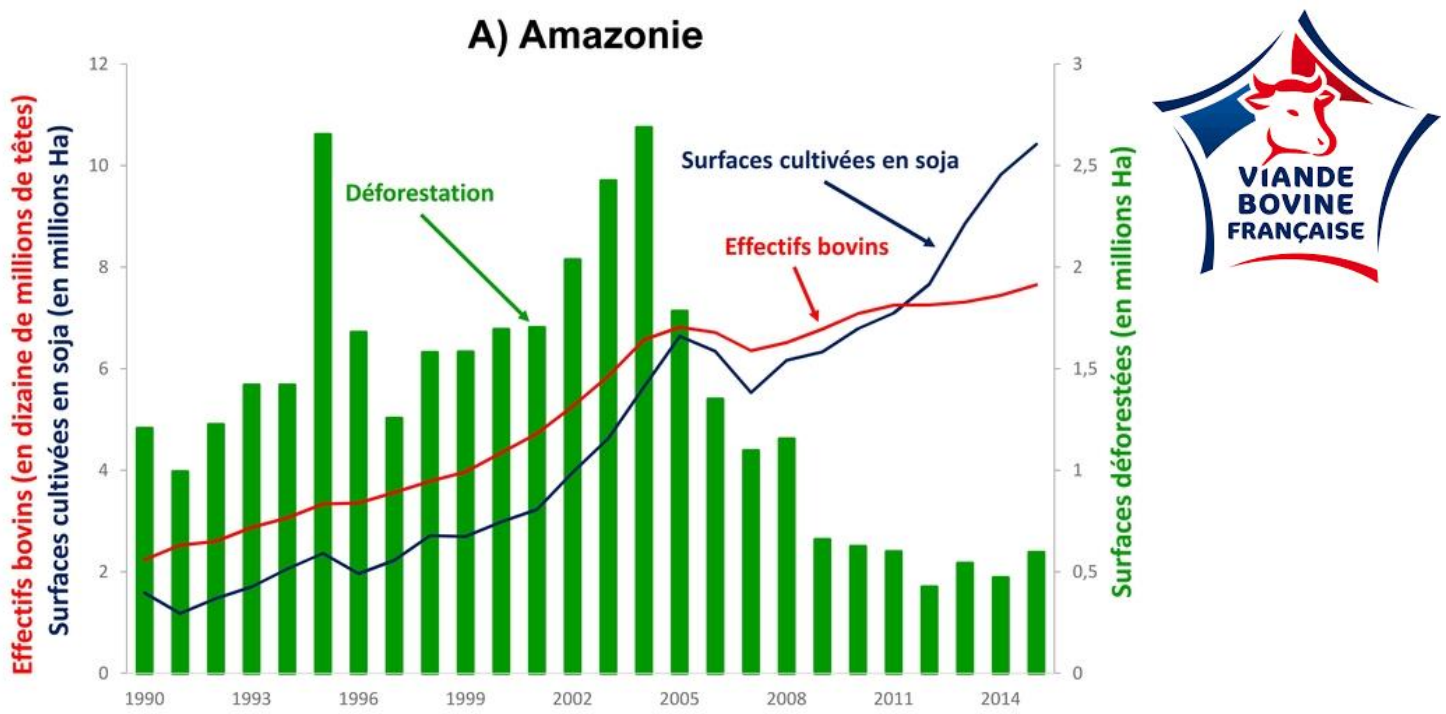
Surface	**30 Ha**
Taille troupeau	35 vaches laitières
Production lait/vache	5000 – 5500 L/an
Nombre d'emploi	1,5

Comparaison de l'alimentation des vaches laitières dans deux élevages bretons, l'un conventionnel, l'autre herbager en agriculture biologique (AB).
Dans le système conventionnel, 20% de la ration des animaux sont constitués de soja acheté, le maïs ensilage produit sur la ferme nécessite beaucoup de travail. Dans le système herbager AB, 100% de l'alimentation est produite sur l'exploitation (associations à base de poacées+légumineuses dans des prairies de plus de 15 ans). Une part importante n'étant pas récolté mais consommée sur place par les animaux (pâturage 10 mois/12). Malgré une production brute à l'hectare plus importante en conventionnel (+32%), la valeur ajoutée en herbager AB est supérieure (+118%). Un demi-emploi supplémentaire peut être rémunéré. Ceci s'explique par un prix de vente du lait AB plus élevé mais surtout par une production des aliments très économes.

Devienne, 2017

Evolution de la production de soja au Brésil 1990-2014

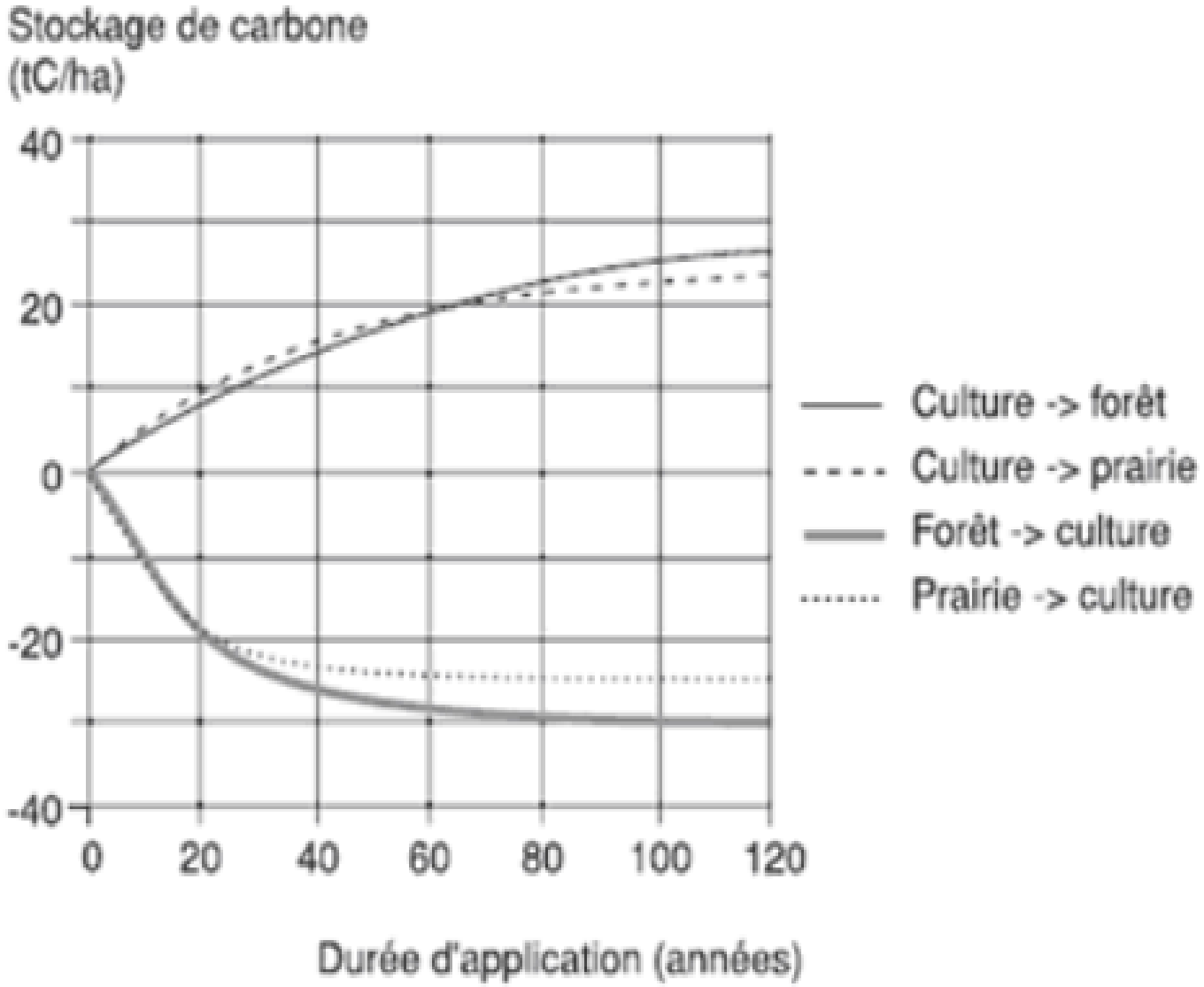




Laurent, F., Arvor, D., Daugeard, M., Osis, R., Tritsch, I., Coudel, E., ... & Hasan, A. F. (2017). Le tournant environnemental en Amazonie: Ampleur et limites du découplage entre production et déforestation. *EchoGéo*, (41).

Le cargo India ici à quai au port de commerce de Lorient pour décharger 62 400 tonnes de soja en provenance du Brésil. 16 juin 19. © Thierry Creux

Destruction de la forêt amazonienne pour l’agriculture (Etat brésilien d’Acre) - *Photo : Ricardo Funari - Getty*



Evolution des stocks de carbone suite à un changement d'affection des sols (L'intervalle de confiance à 95% sur ces valeurs est de l'ordre de +- 40%),

Ademe, Bilan GES

Les prairies permanentes (non labourées) stockent 700 kg C/ha/an en moyenne (0,2 à 1 tonne), ponctuellement jusque 2,2 t C/ha/an.

Source : Inra – Valoriser l'élevage à l'herbe dans les territoires de montagnes

© Inra, Jean WEBER

Photo : S.Rebulard

ecotree.fr

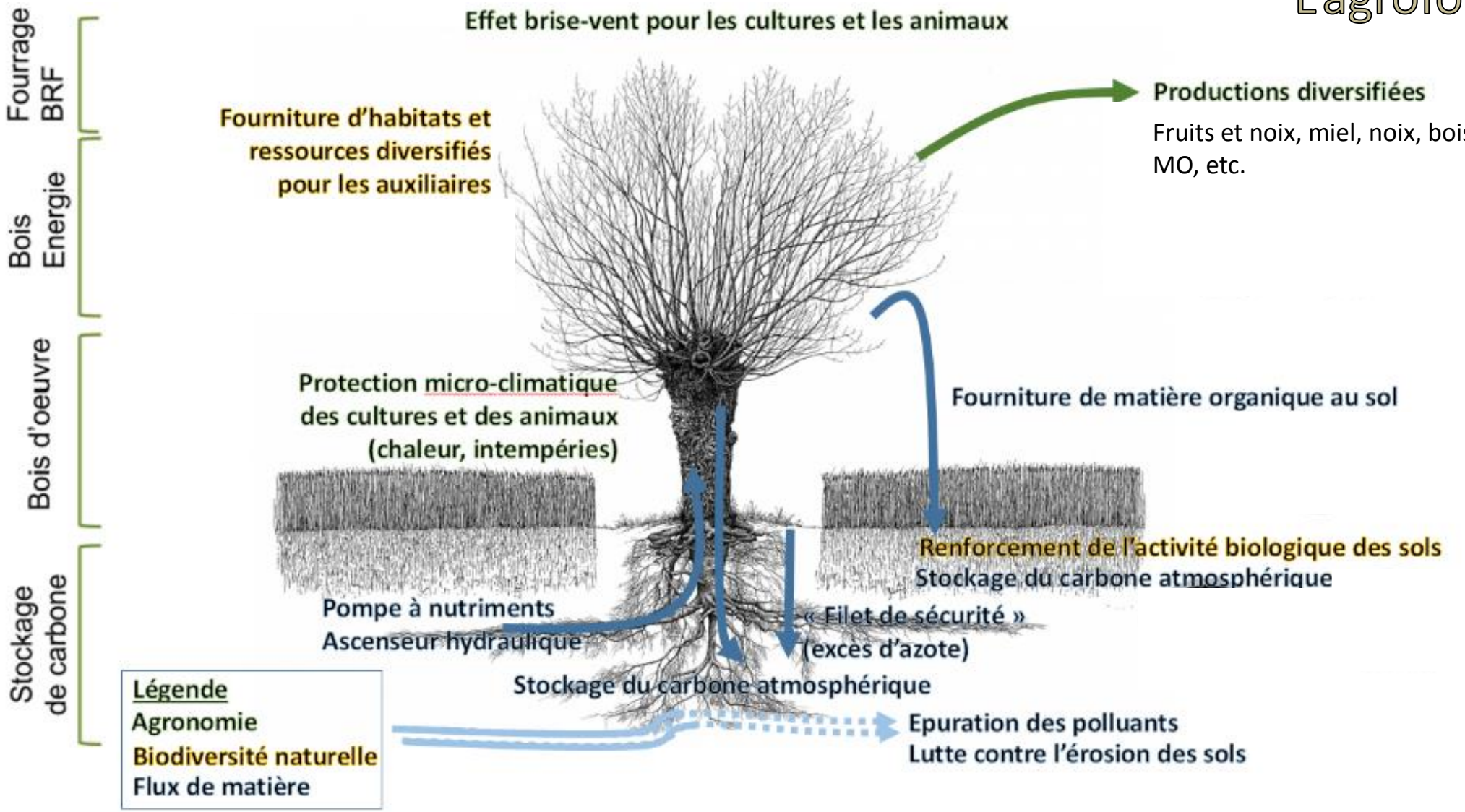
AOP Pata Negra
© D.R.

AOP Camembert de Normandie
AOP Cidre du Pays d’Auge
© D.R.

AOP Comté
© D.R.

AOP Charcuterie de Corse
© D.R.

L'agroforesterie

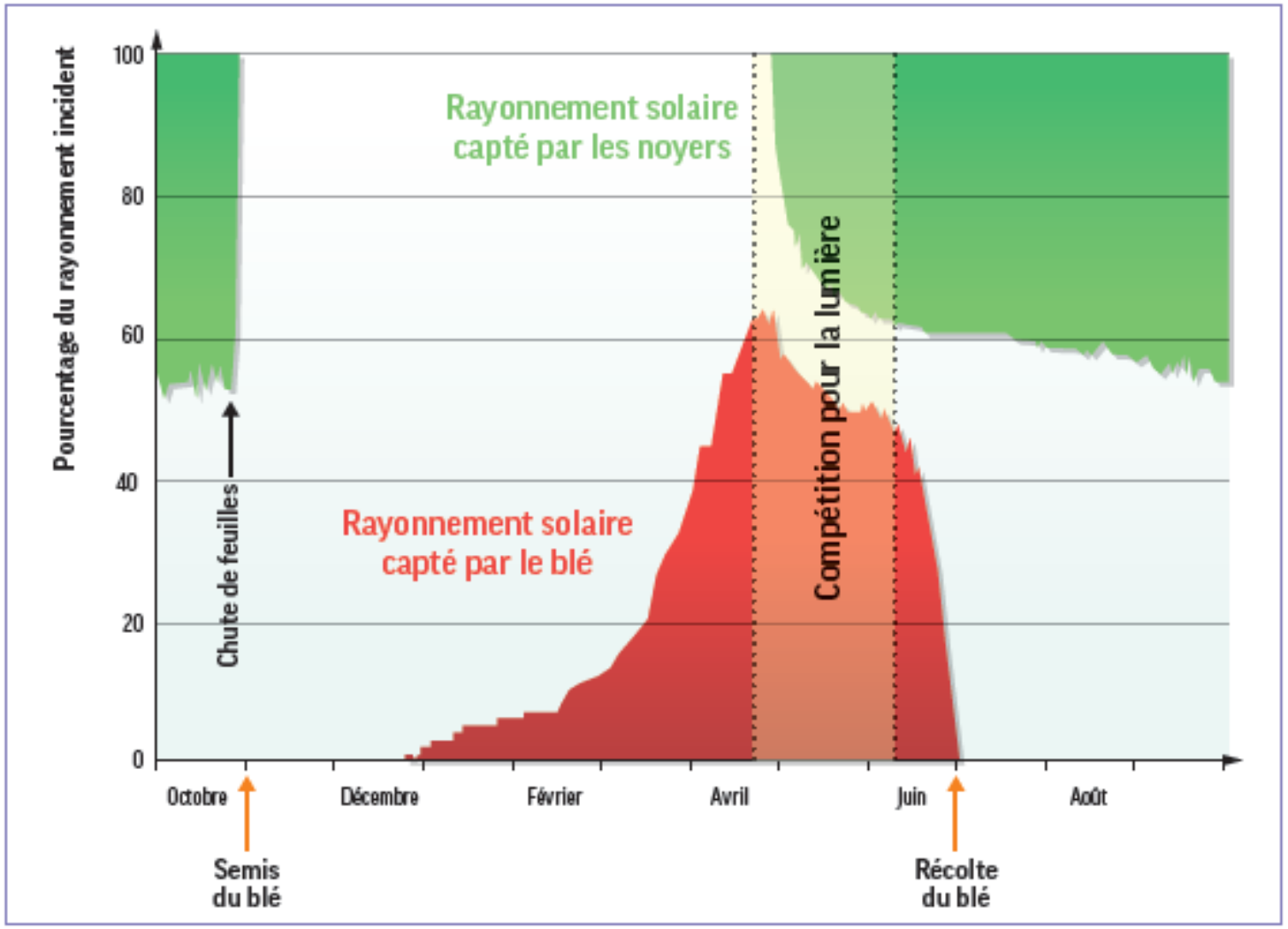


Source : Le défi alimentaire, Rebulard, 2018, d'après Afaf

Fonction des arbres associés à d'autres productions agricoles.

Le développement racinaire des arbres en profondeur leur permet de jouer un rôle de « pompe nutritive ». Ils prélèvent en profondeur les éléments nutritifs inaccessibles aux céréales. Ces éléments entrent dans la constitution de leur biomasse et sont remis à disposition près de la

Agroforesterie



Complémentarité pour l'exploitation annuelle de la lumière dans une association blé/noyers (simulation pour des arbres âgés de 15 ans)

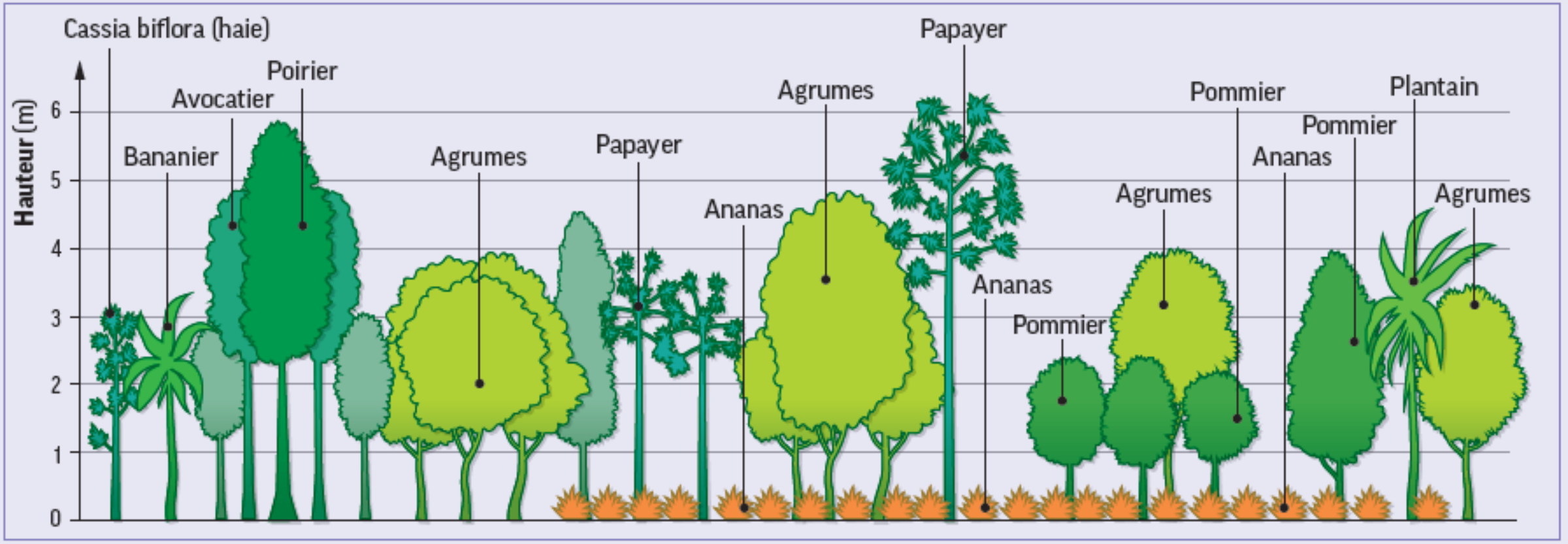
sources : HiSafe + Cosme et al., 2015

in Le défi alimentaire, Rebulard, 2018,

+ 30% de rendement par rapport à des cultures pures (dans un système peupliers + céréales sur 20 ans). Dupraz, *et al.*, 2008

+ **0,1 t C/ha/an** en agroforesterie intra-parcellaire, et près de **1,3 t de C/ha/an** pour certains bocages. Pellerin, *et al.*, 2013

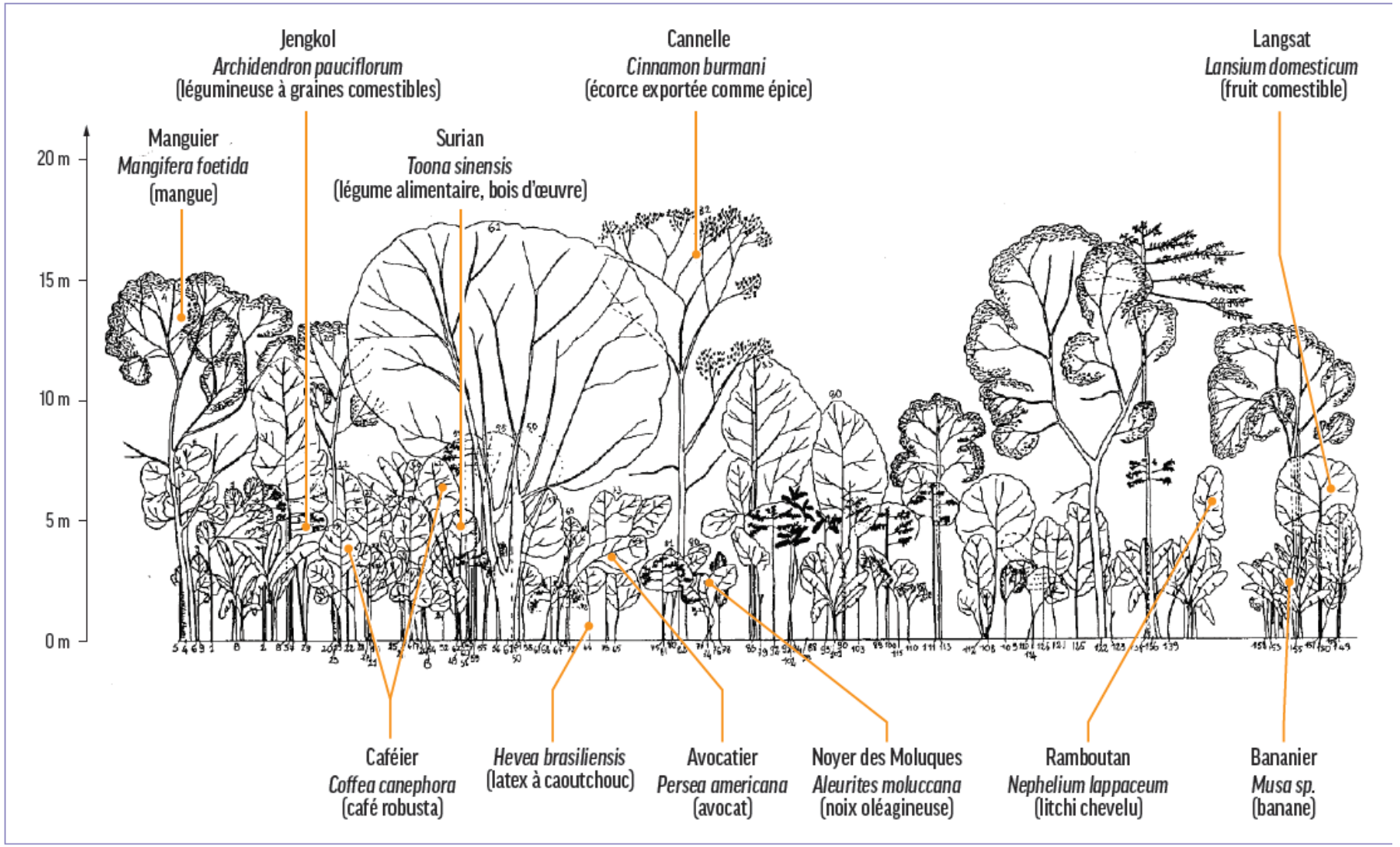
Les jardins créoles



Doc. 8. Stratification verticale typique d'un jardin domestique à culture intensive dans les tropiques humides du Ghana.

Source : Le défi alimentaire, Rebulard, 2018,

Les forêts jardinées ou agroforêts



Doc. 11. Agroforêt de moyenne altitude (900 mètres) à Sumatra. Dans cette agroforêt traditionnelle, une vingtaine d'espèces a été identifiée. Certaines sont alimentaires (vivrières ou commerciales), d'autres utilisées pour le bois d'œuvre. On connaît des agroforêts pouvant dépasser la centaine d'espèces utiles directement aux humains [82d]. Dessin de Y.Thomas, avec l'aimable autorisation de l'auteure.

Source : Le défi alimentaire, Rebulard, 2018,

Complémentarité des productions

Canards dans une rizière au nord du Laos.

Photo: S. Rebulard

V.A.C du Vietnam (V pour « vuon », potager ; A pour « ao », étang ; C pour « chuong », enclos)

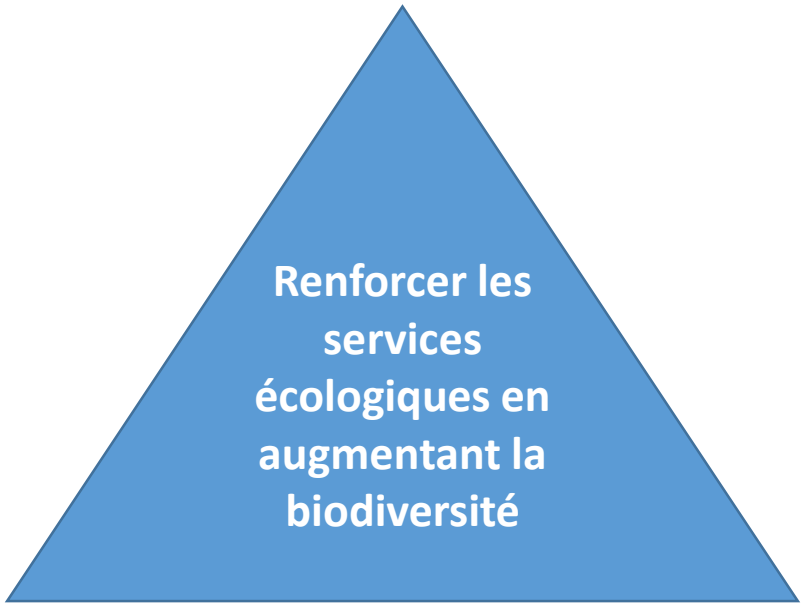
https://farm360.vn/

Rizipisciculture à Yogyakarta, Indonesie.

Photo : Kembangraps, CC BY-SA 4.0

Modification structurelle des agrosystèmes pour le maintien des services écologiques

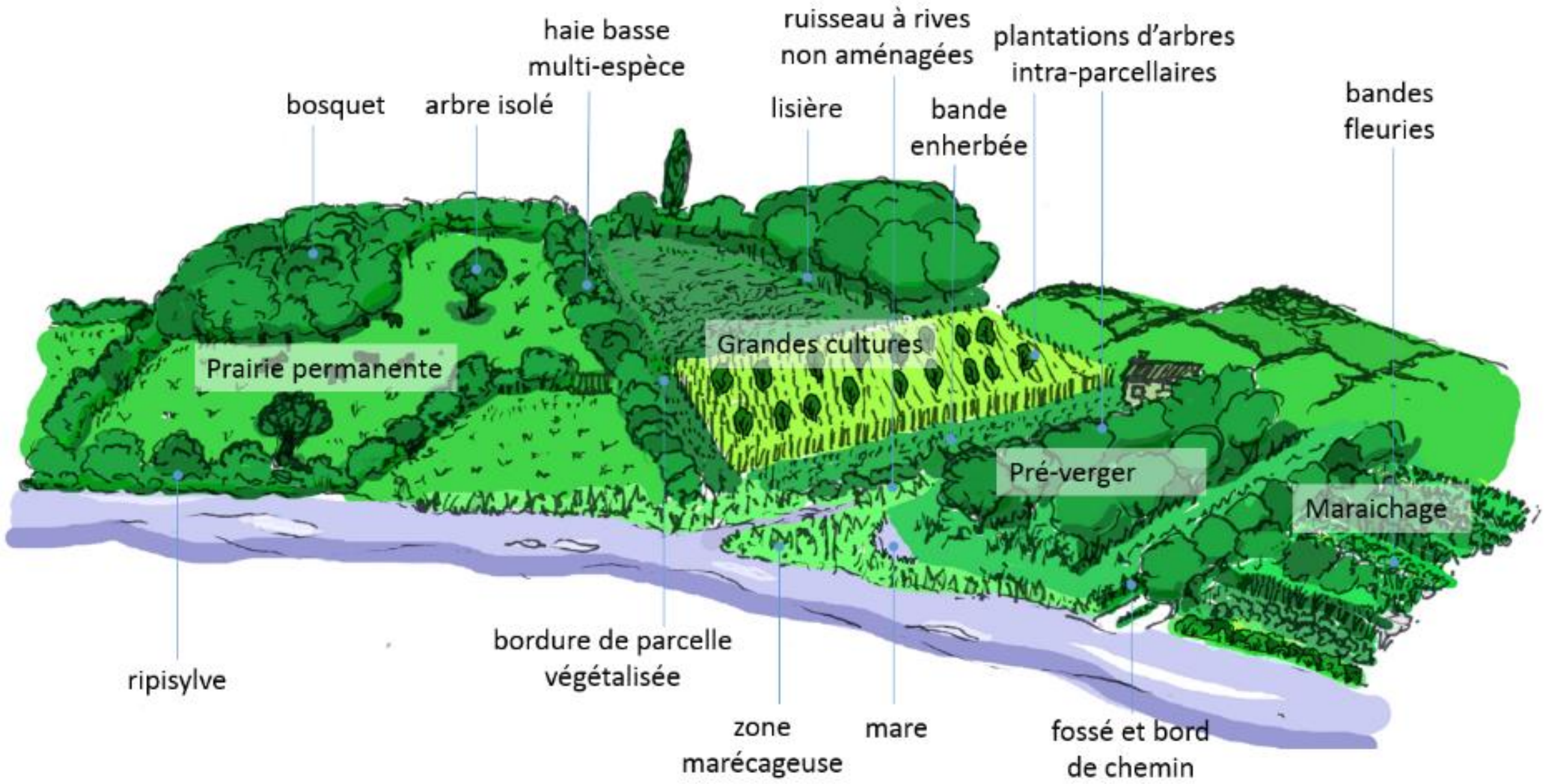
Augmenter la diversité au champ dans le temps et dans l'espace



Réinstaller des habitats semi-naturels

Couvrir les sols

Importance des éléments semi naturels



Exemple d'éléments semi-naturels en contexte agricole

Source : Le défi alimentaire, Rebulard, 2018

Les haies : fournir le gîte et le couvert

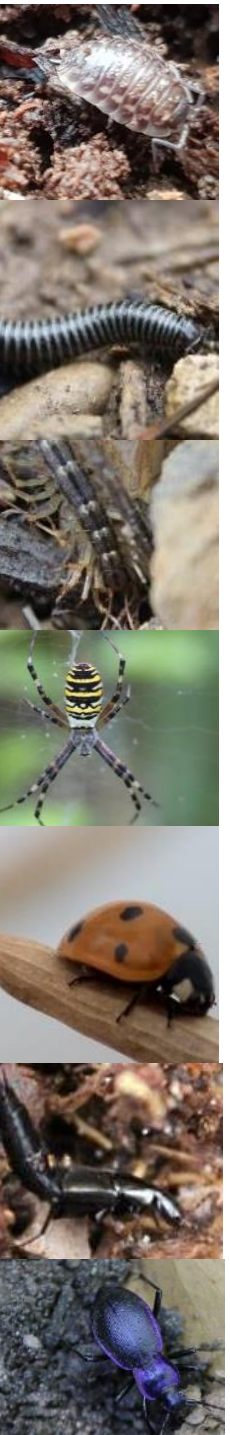
	Janvier	février	Mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Saule marsault		■	■									
Prunellier			■	■								
Merisier				■	■							
Églantier					■	■	■					
Tilleul à petites feuilles							■	■				
Ronce[1]							■	■	■	■		
Lierre[1]									■	■	■	■

[1]La ronce et le lierre, sans être des espèces arborées, sont associés à la présence des arbres, notamment dans les haies.

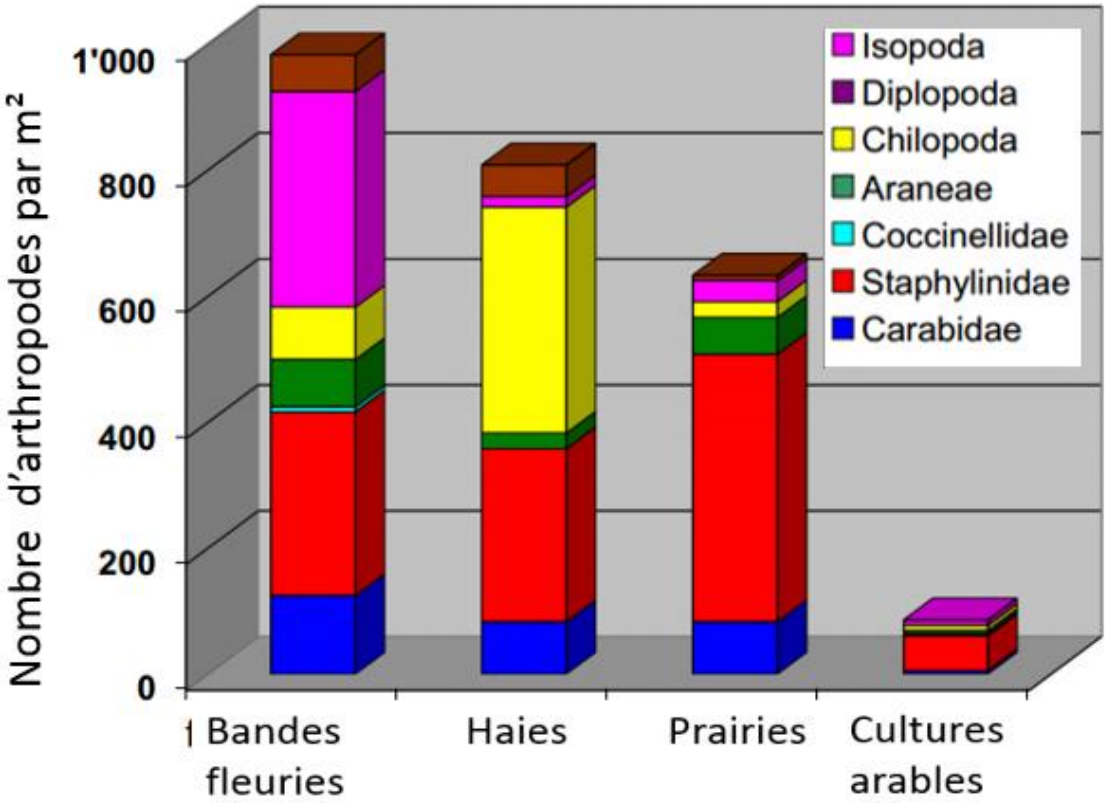
Calendrier des floraisons de quelques arbres et plantes associées utilisables dans les haies.

L'étalement des floraisons d'un mélange d'espèces permet de nourrir les insectes floricoles, en particulier les pollinisateurs sauvages et les abeilles domestiques. Cette alimentation permanente sur la plus grande partie de l'année est de nature à augmenter simultanément la biodiversité de ces insectes et des espèces associées et à améliorer l'efficacité de la pollinisation et les rendements en miel. Afaf

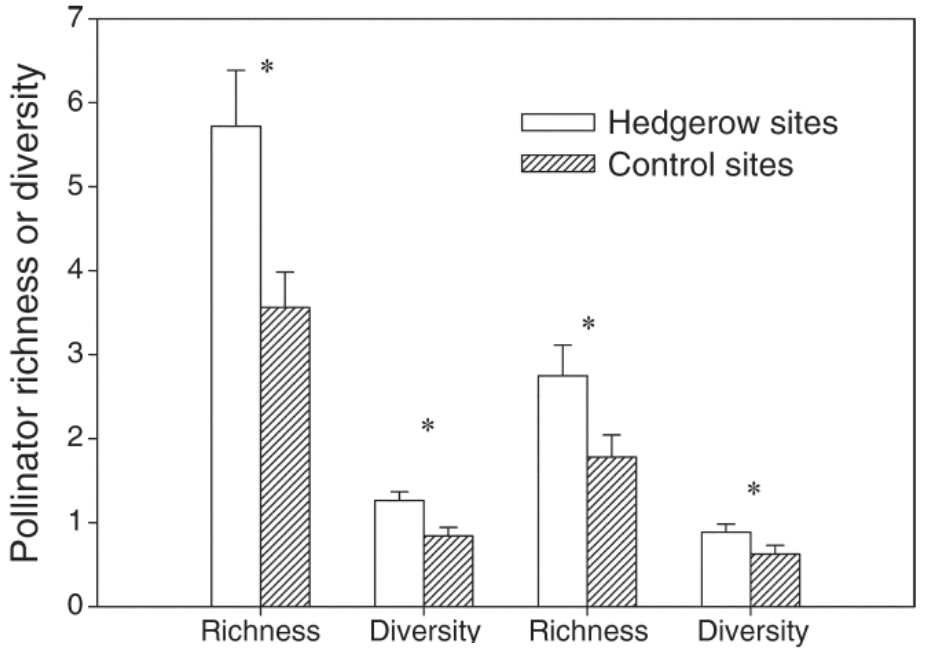
Favoriser les espèces auxiliaires : les bandes fleuries



Impacts des éléments semi-naturels sur les auxiliaires

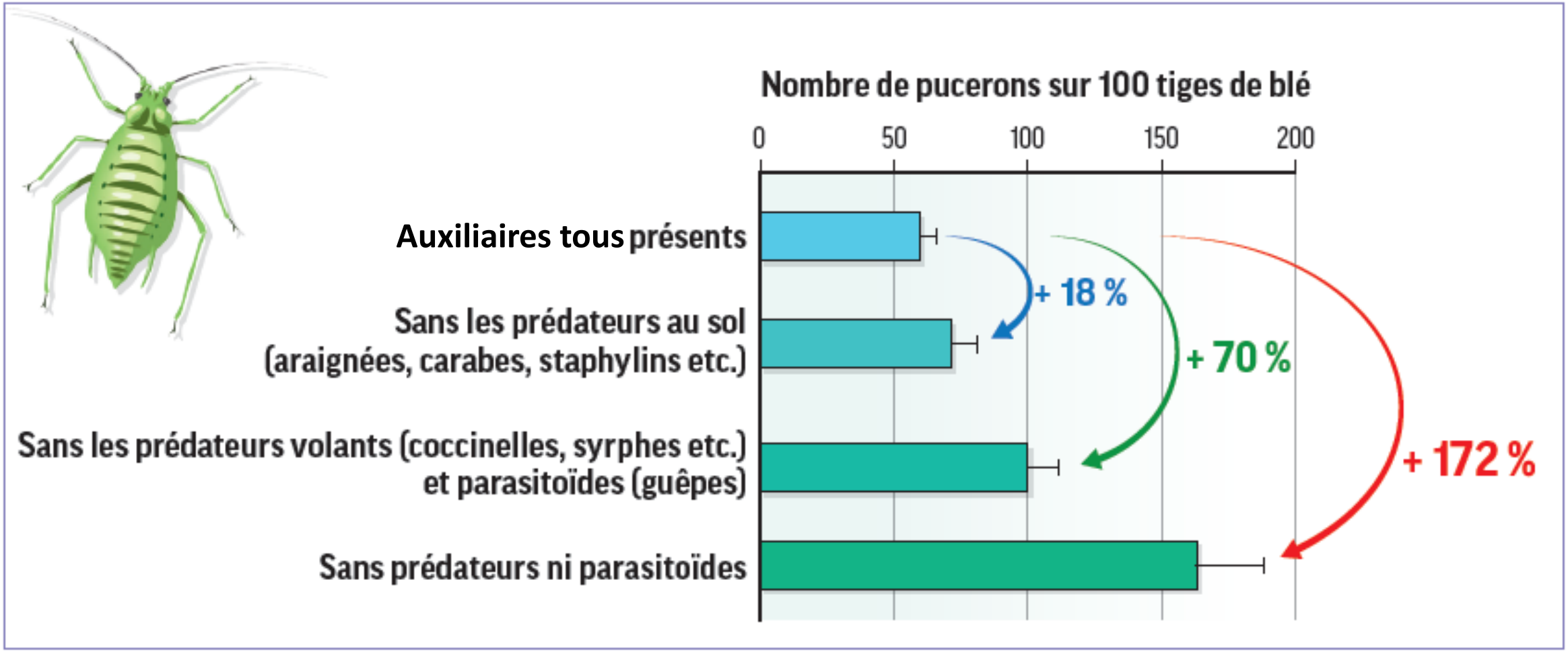


Nombre d'arthropodes (insectes, araignées, mille pattes) par m² dans une culture avec ou sans haie.
Les animaux présentés ici on soit un rôle dans la décomposition (D) de la matière organique, soit comme prédateurs (P), notamment des insectes indésirables en agriculture.



Nombre d'espèces d'abeilles sauvages et de syrphidés dans des haies et sur des limites de champs sans haies (sites témoins).
Morandin, L. A., & Kremen, C. (2013). Hedgerow restoration promotes pollinator populations and exports native bees to adjacent fields. Ecological Applications, 23(4), 829-839.

Les impacts sur les services écosystémiques

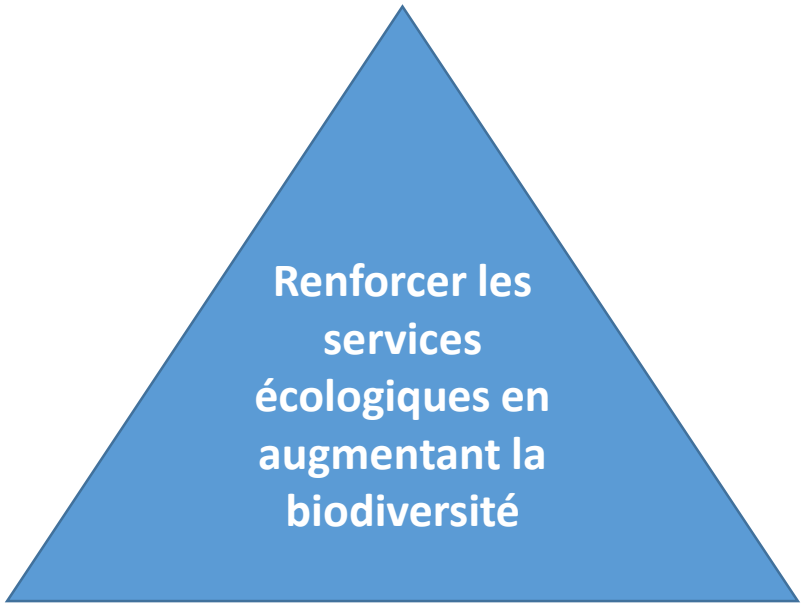


Impact de la diversité des auxiliaires sur la présence de pucerons du blé.

Dans des parcelles expérimentales à l'université de Göttingen en Allemagne, les auteurs ont expérimentalement retiré différentes catégories d'auxiliaires (avec des barrières ou des filets spécifiques) et ont observé les effets sur des populations de pucerons présents sur du blé d'hiver.

Modification structurelle des agrosystèmes pour le maintien des services écologiques

Augmenter la diversité au champ dans le temps et dans l'espace



Réinstaller des habitats semi-naturels

Couvrir les sols

Les restitutions : laisser les restes de cultures

Les restitutions : laisser les restes de cultures

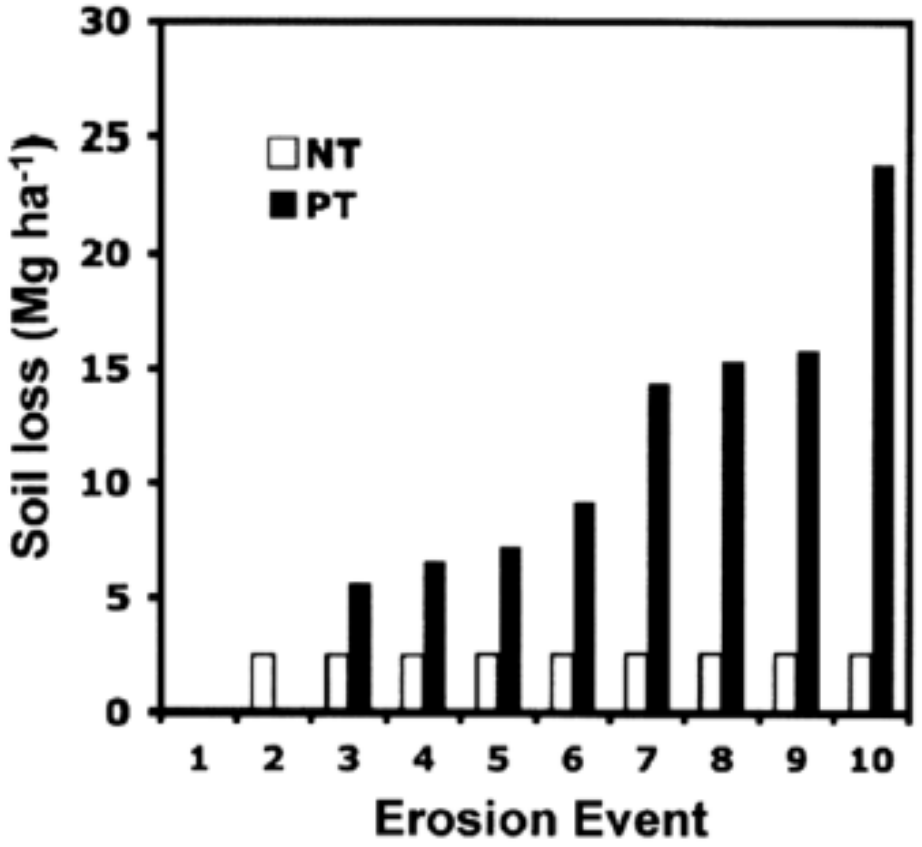
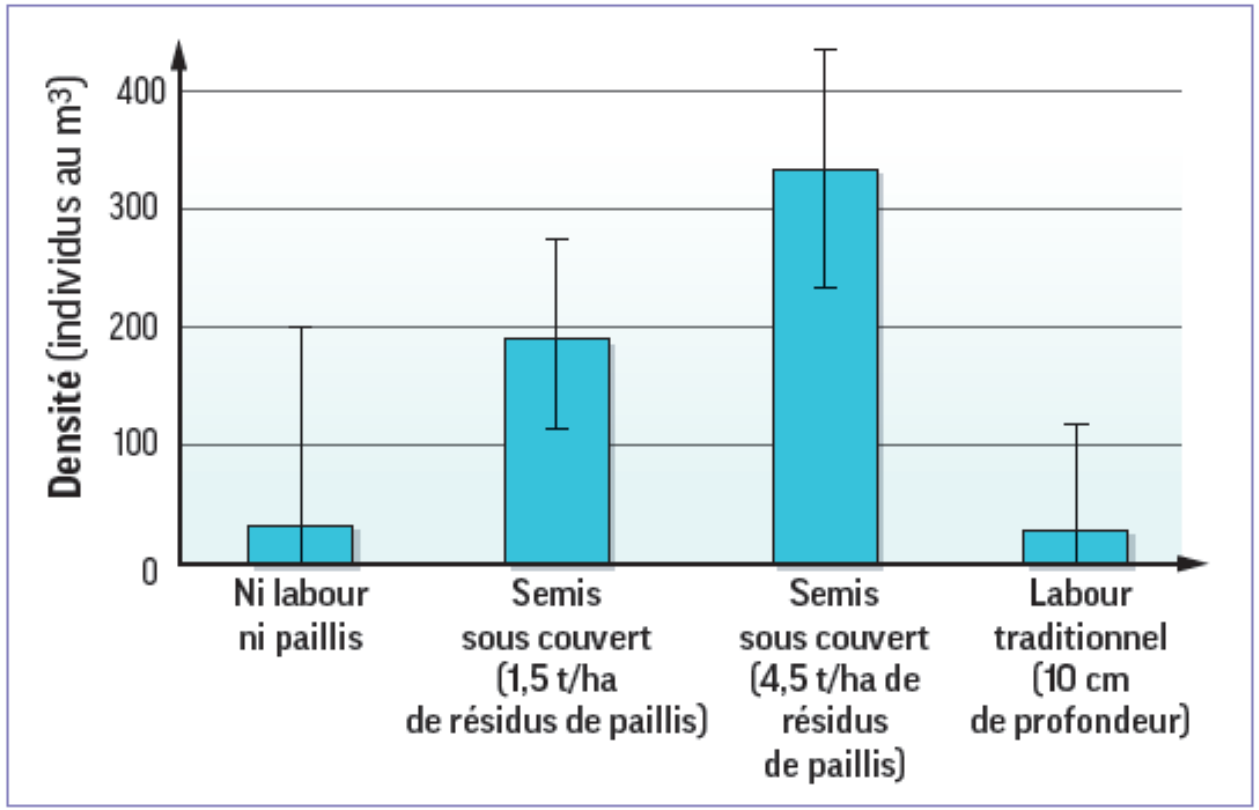


Fig. 2. Perte de sols cumulée dans les systèmes sans labour (NT) et sous labour annuel (PT) entre 1970 et 1973. Les évènements 1 à 10 représentés en abscisse sont tous les épisodes pluvieux qui ont généré du ruissellement et donc potentiellement de l'érosion hydrique sur cette période d'étude (Harrold and Edwards, 1974).

Couvrir les sols : les apports de matière organique fraiche

Semences d'espèces différentes (maïs, tournesol, soja, etc.) qui seront semées en mélange pour former un couvert important pendant l'interculture.

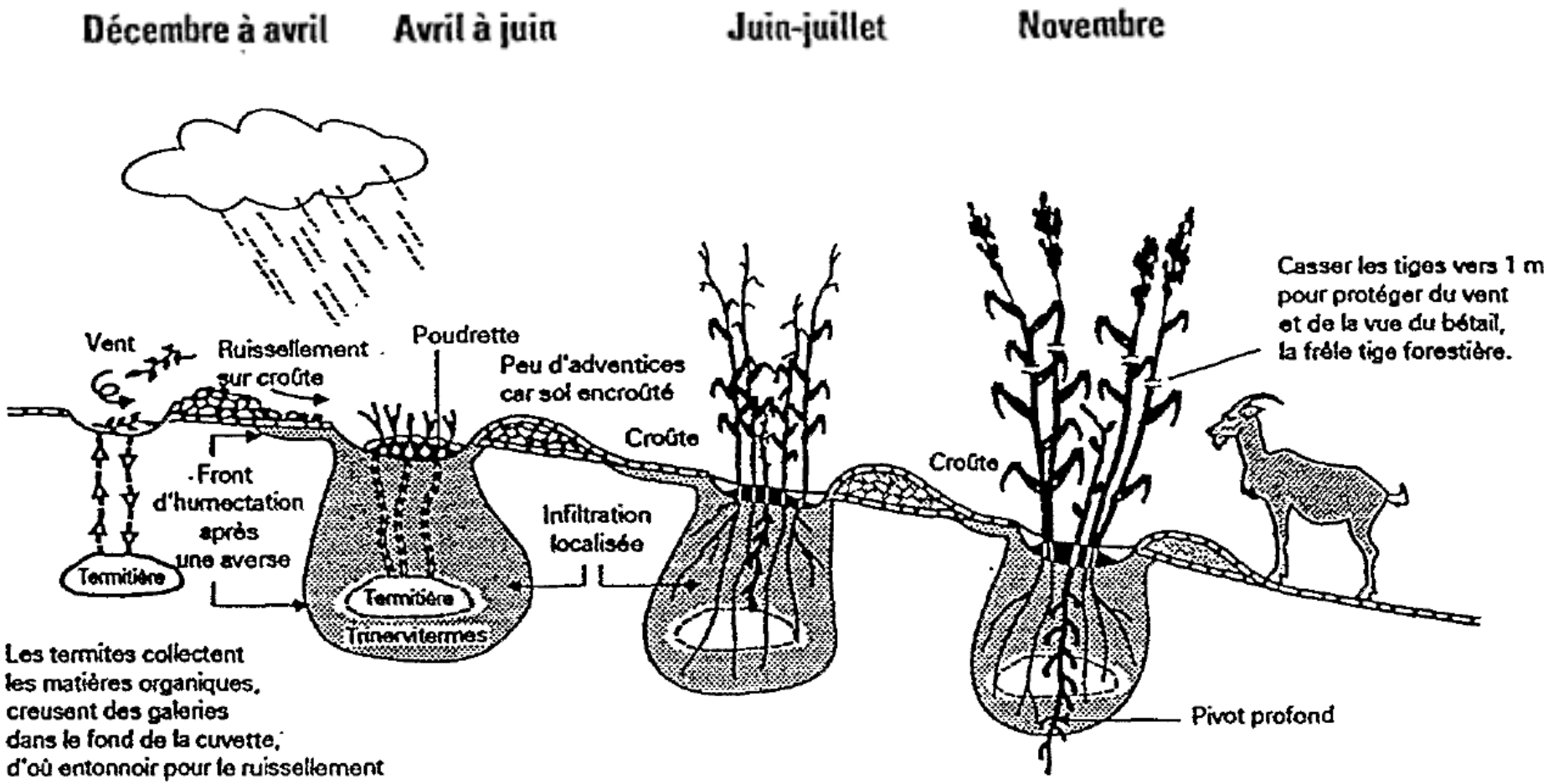
Effet du non labour sur les organismes su sol



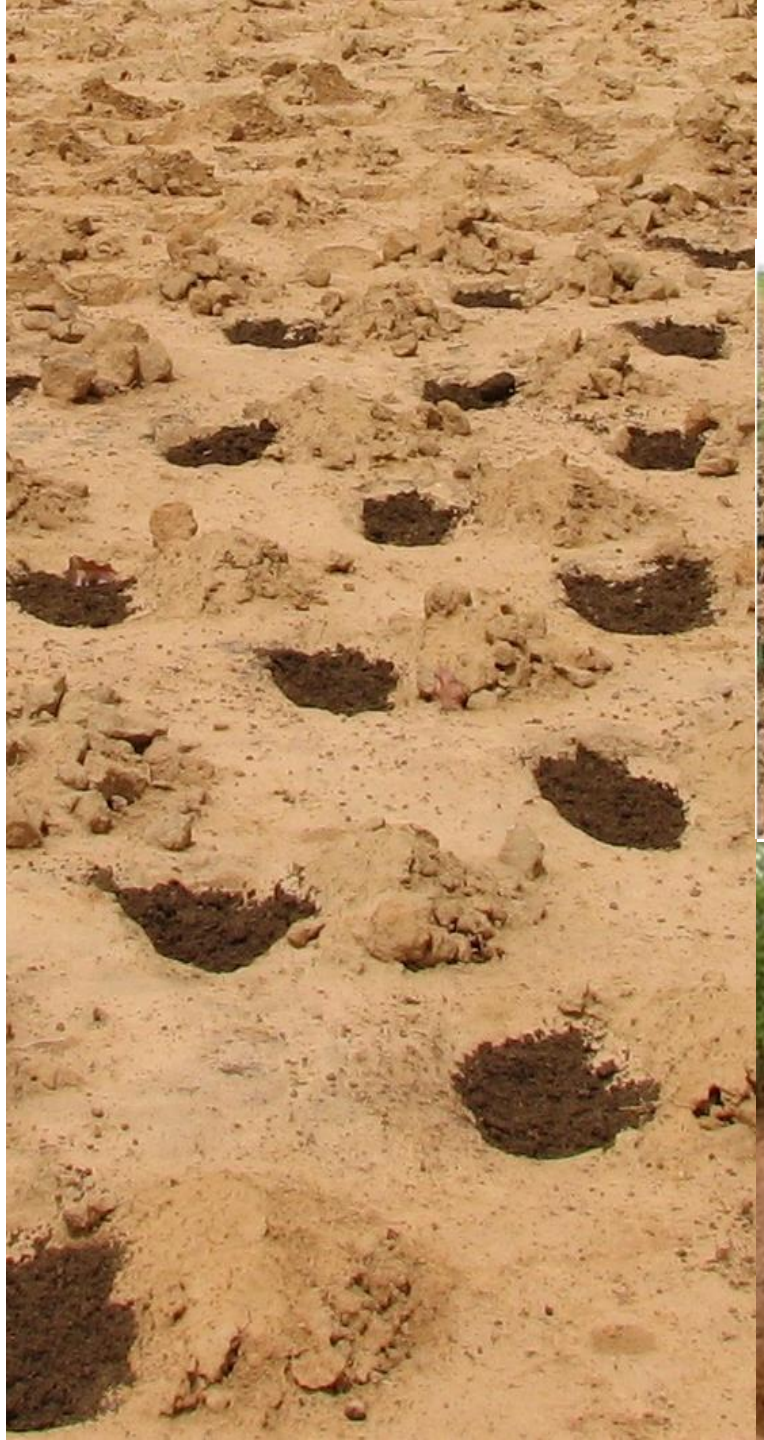
Doc. 6. Effet du travail du sol sur sa macrofaune (lombrics, termites, larves de coléoptères, etc.) [71]. Résultats d'une expérimentation menée à l'ouest du Mexique, dans une région semi-aride en 1998. Dans cette expérience, on constate que la suppression du travail du sol seule a peu d'effet sur la faune du sol. En revanche, la présence d'un mulch la favorise.

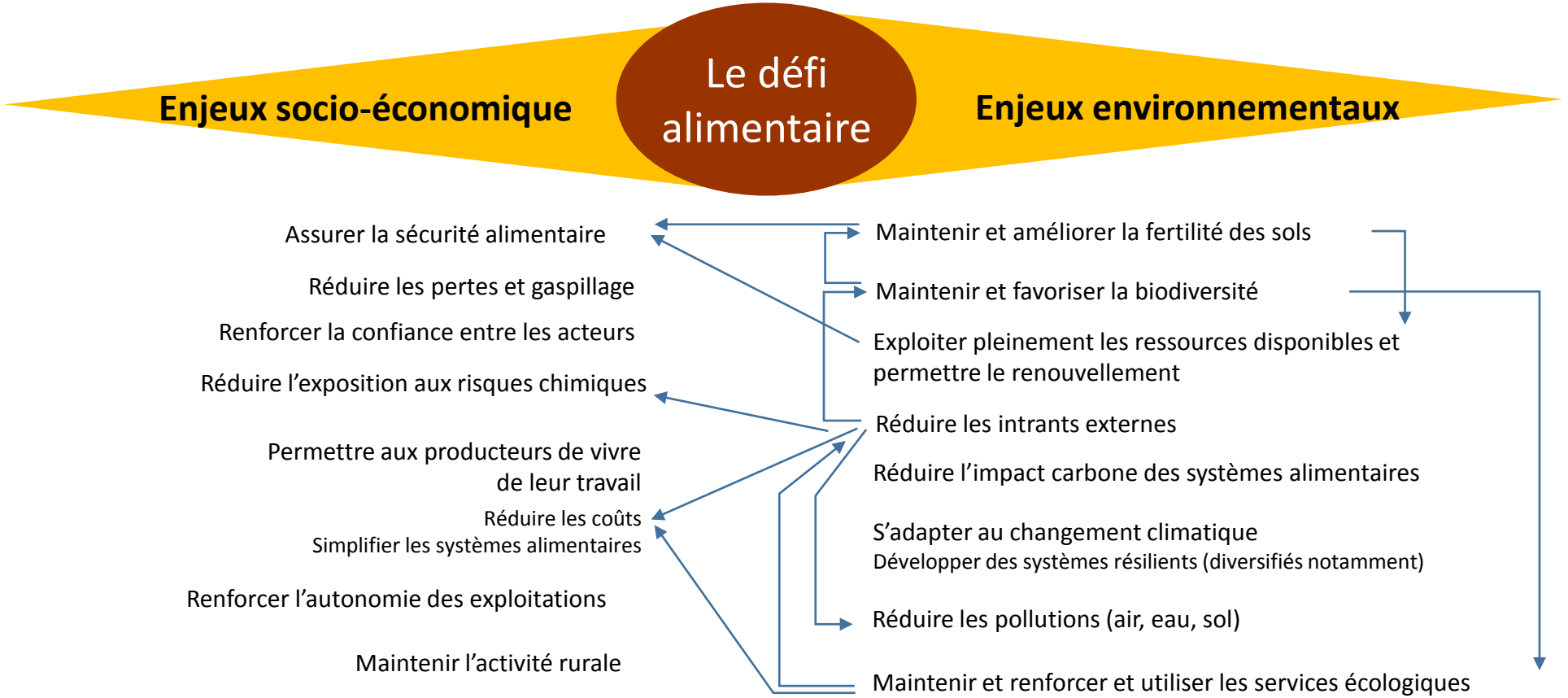
in Le défi alimentaire, Rebulard, 2018,

Le zaï au Sahel



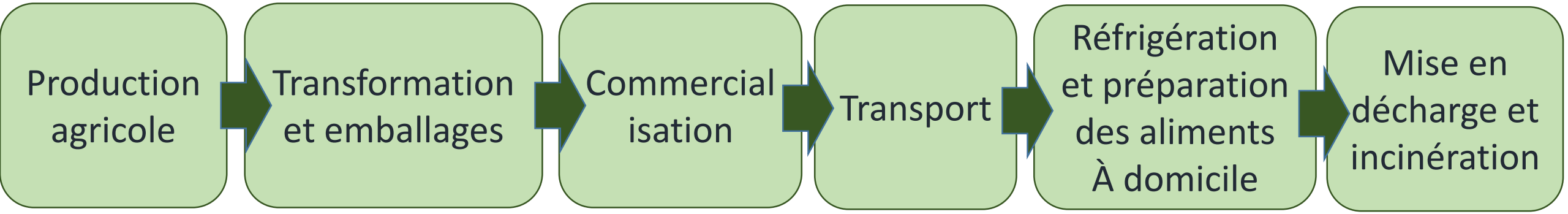
Le zaï




Le défi alimentaire
Enjeux socio-économique
Enjeux environnementaux
Assurer la sécurité alimentaire
Réduire les pertes et gaspillage
Renforcer la confiance entre les acteurs
Réduire l'exposition aux risques chimiques
Permettre aux producteurs de vivre de leur travail
Réduire les coûts
Simplifier les systèmes alimentaires
Renforcer l'autonomie des exploitations
Maintenir l'activité rurale
Accompagner les agriculteurs dans les évolutions à venir
Assurer le bien être des animaux
Maintenir et améliorer la fertilité des sols
Maintenir et favoriser la biodiversité
Exploiter pleinement les ressources disponibles et permettre le renouvellement
Réduire les intrants externes
Réduire l'impact carbone des systèmes alimentaires
S'adapter au changement climatique
Développer des systèmes résilients (diversifiés notamment)
Réduire les pollutions (air, eau, sol)
Maintenir et renforcer et utiliser les services écologiques

Le choix / le poids du consommateur

Emissions de GES (%) par étape des systèmes alimentaires pour la France.



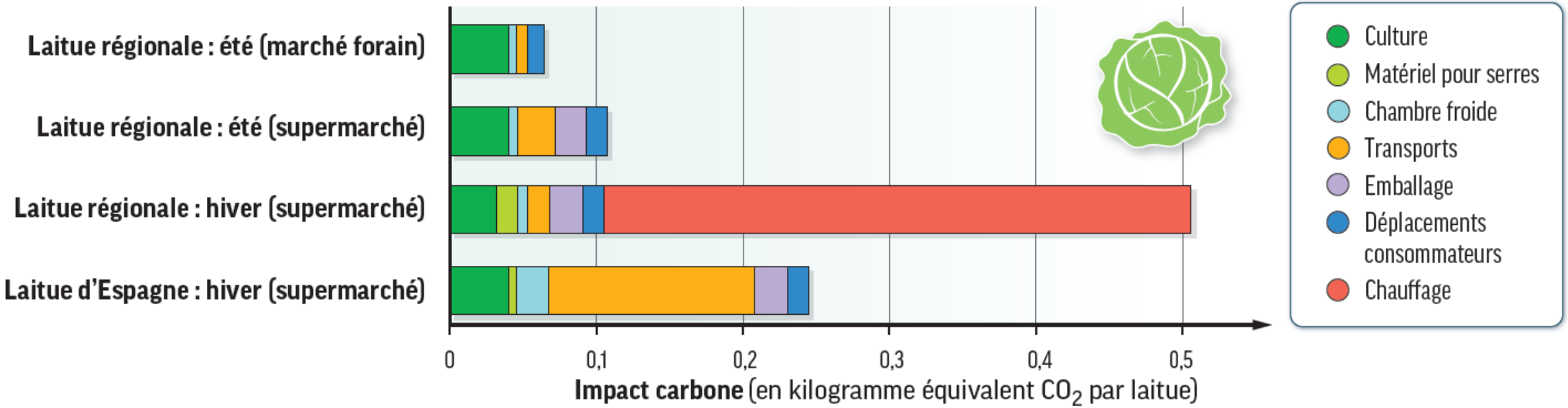
57% **9%** **5%** **17%** **5%** **7%**

dont 11%
entre le commerce et le domicile

Nota : en dehors de la production agricoles, l'émission de GES est principalement liée à
- la consommation énergétique (énergie fossiles),
- aux gaz halogénés pour la réfrigération (à toutes les étapes)
- à l'incinération des déchets

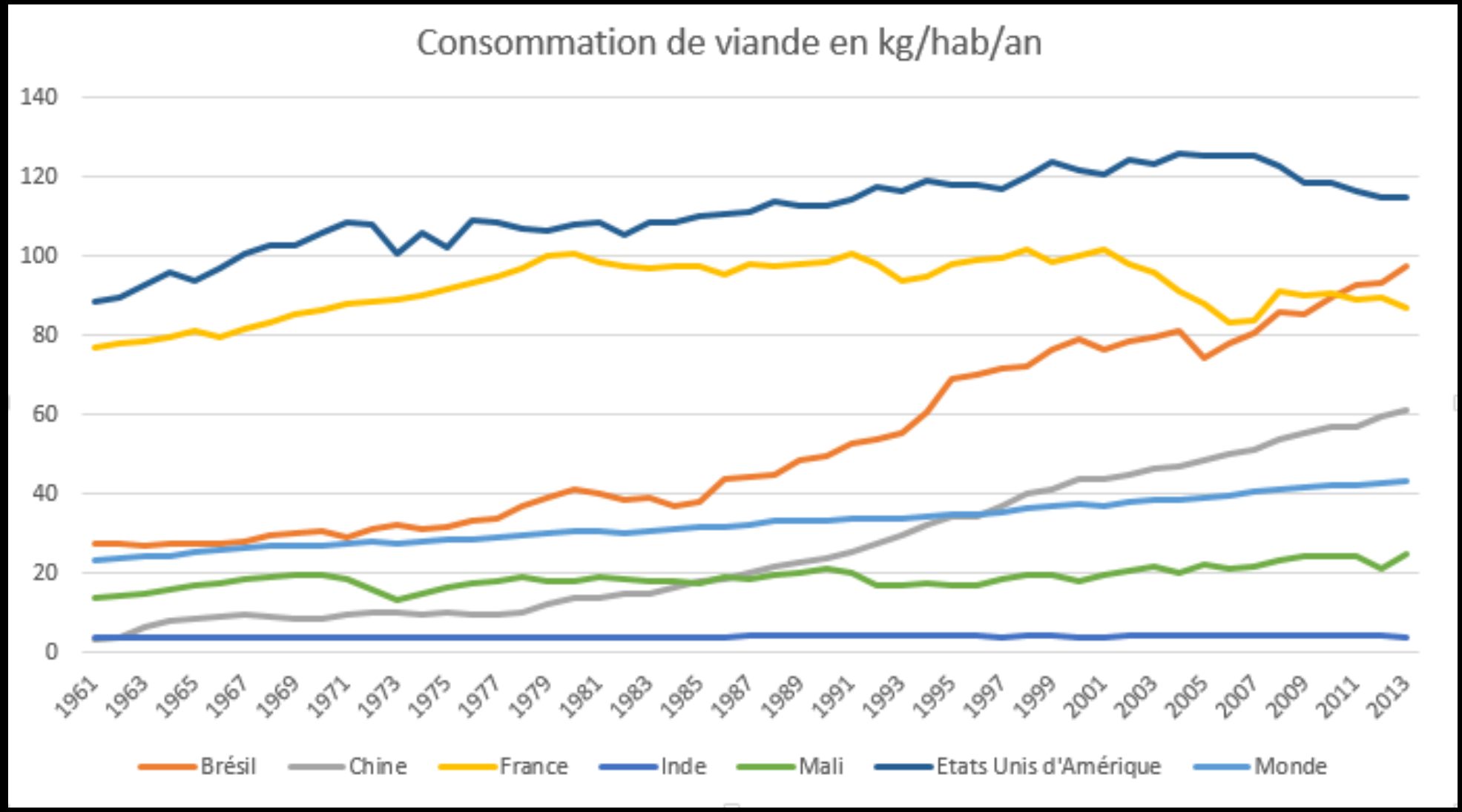
Source : Ademe, 2011

Bilan carbone : saisonnalité et localité



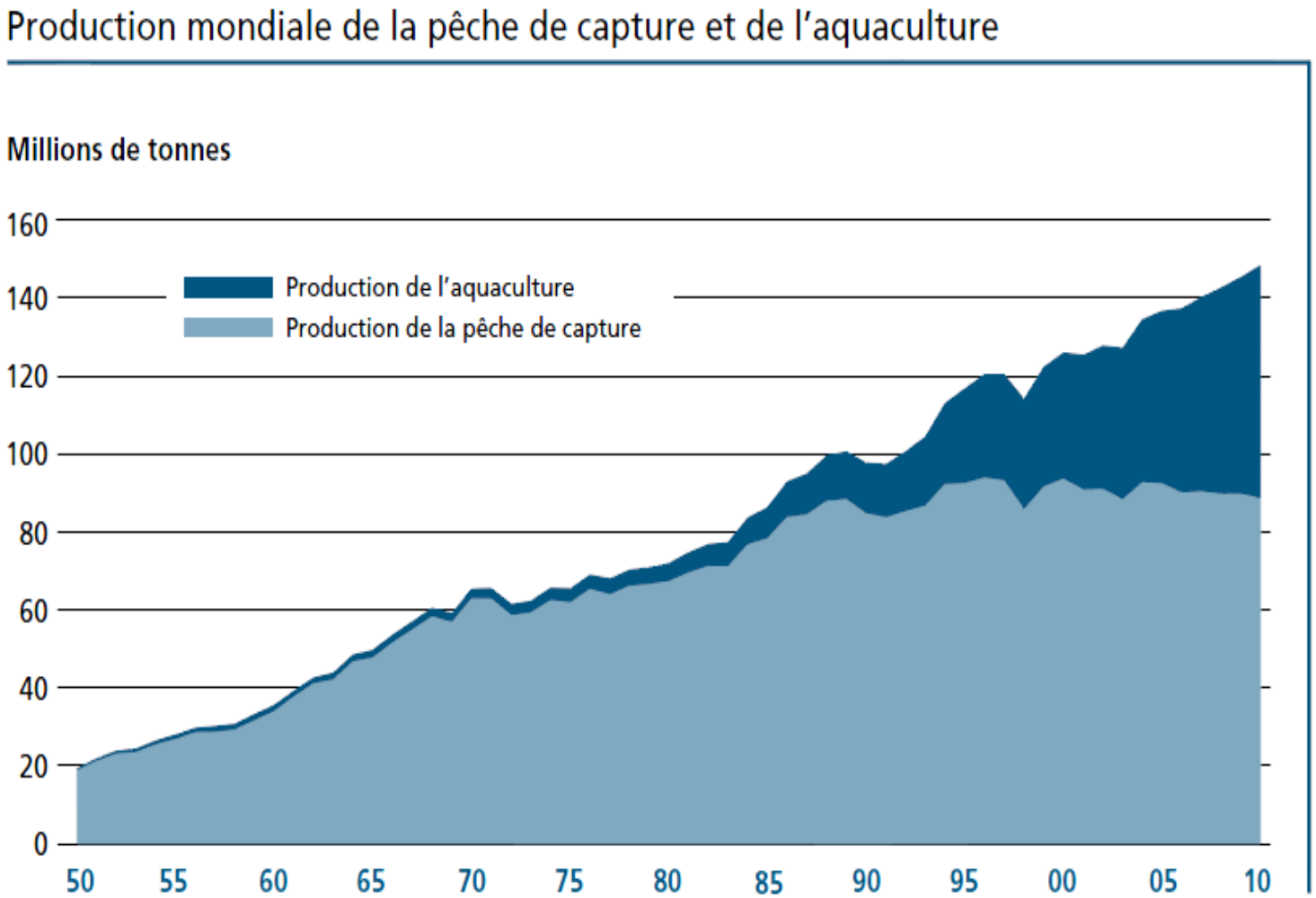
Doc. 2. Impact carbone d'une salade consommée en Allemagne selon la saison, son lieu de production et son lieu de vente.
Les salades consommées l'hiver ont le plus fort impact carbone, quelle que soit leur origine. Les salades produites localement sous serre ont un impact carbone total deux fois plus important que les salades produites en plein air et importées d'Espagne. L'été, ce sont les salades locales achetées sur un marché qui ont le plus faible impact carbone [63].

Impact carbone d'une salade selon les conditions de production et de transport



Évolution de la consommation de viande par habitant dans différentes régions et dans le monde entre 1979 et 2009 (Source FAOSTAT).

La pêche en perte de vitesse



Production mondiale de la pêche de capture et de l'aquaculture. La production de la pêche et stable depuis une vingtaine d'années alors que le développement de l'aquaculture est extrêmement rapide depuis les années 1970. (FAO SOFIA, 2012)

Crevettes tropicales et destruction des mangroves

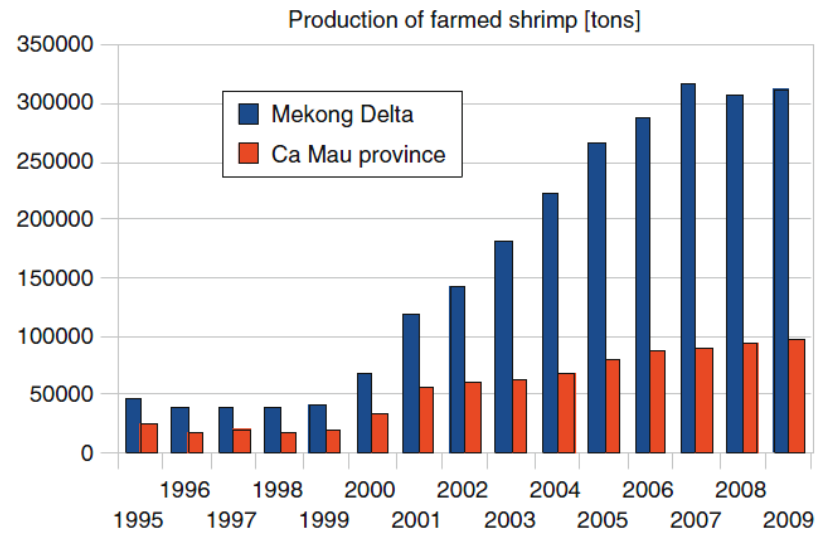


Fig. 12.7 Production of farmed shrimp in the Mekong Delta and in the Ca Mau province from 1995 until 2009 (Source: GSO n.d.)

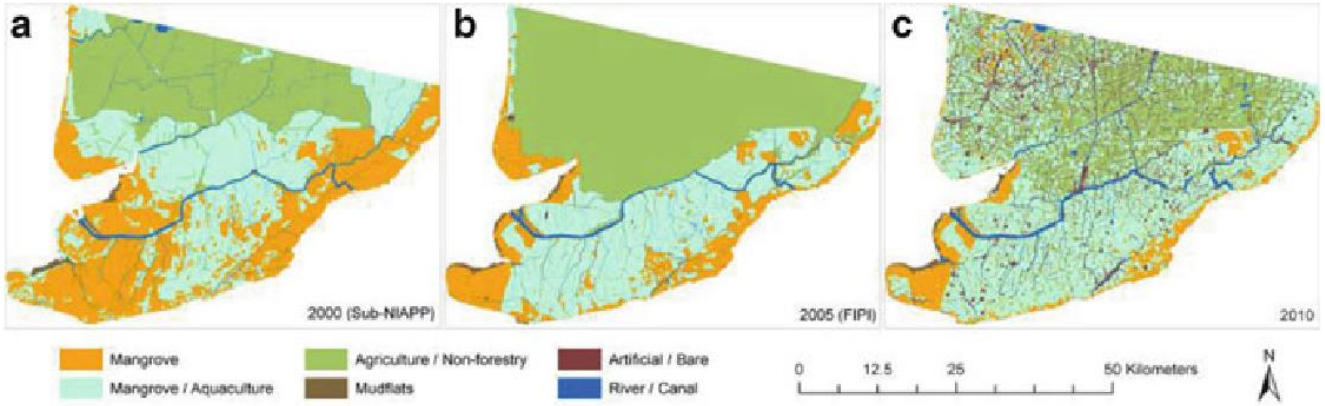
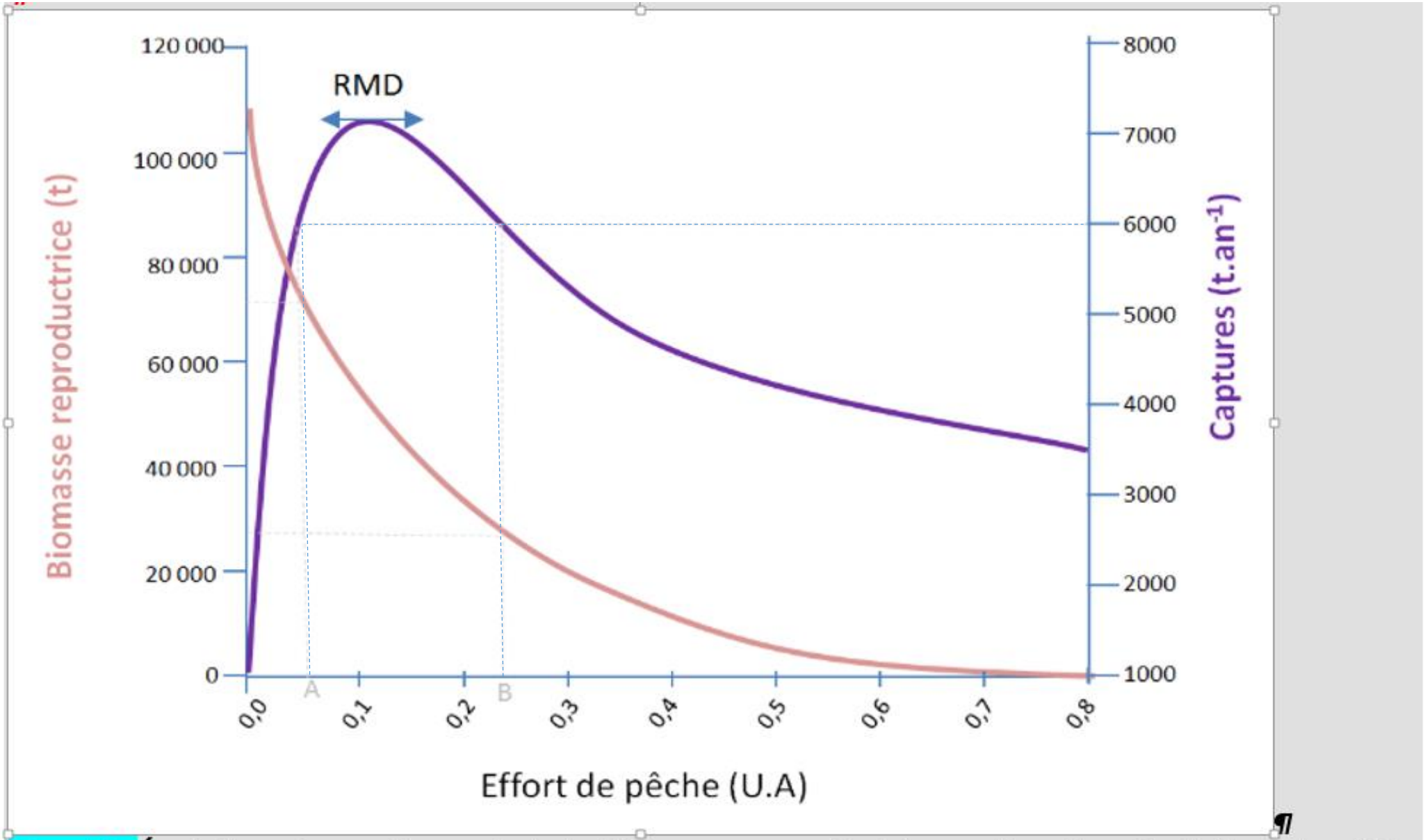


Fig. 12.10 Land-use/forest maps of the Ca Mau region from (**a**) 2000 (Sub-NIAPP), (**b**) 2005 (FIPI), and (**c**) 2010 (DLR)

Production de crevettes d'élevage : **30 % de la farine de poisson produite dans le monde**
FAO

Consommation de crevettes tropicales : **1 kg/français/an**
FranceAgriMer

Pêche durable : atteindre le rendement maximum durable



Doc. E1. Évolution des captures et de la biomasse reproductrice en fonction de l'effort de pêche

Conclusion : attention aux appellations trompeuses

Olives importées et herbes de Provence

Ancienne ??

Melon 'charentais' origine Maroc

Les lentilles de Turquie. Les autres légumes : Hollande, Belgique, France et Pologne

Champignons de Paris mis en boite en Espagne

Conclusion : de quelles informations dispose-t-on pour faire son choix ?

Origine des ingrédients ?

Simplicité de la formulation

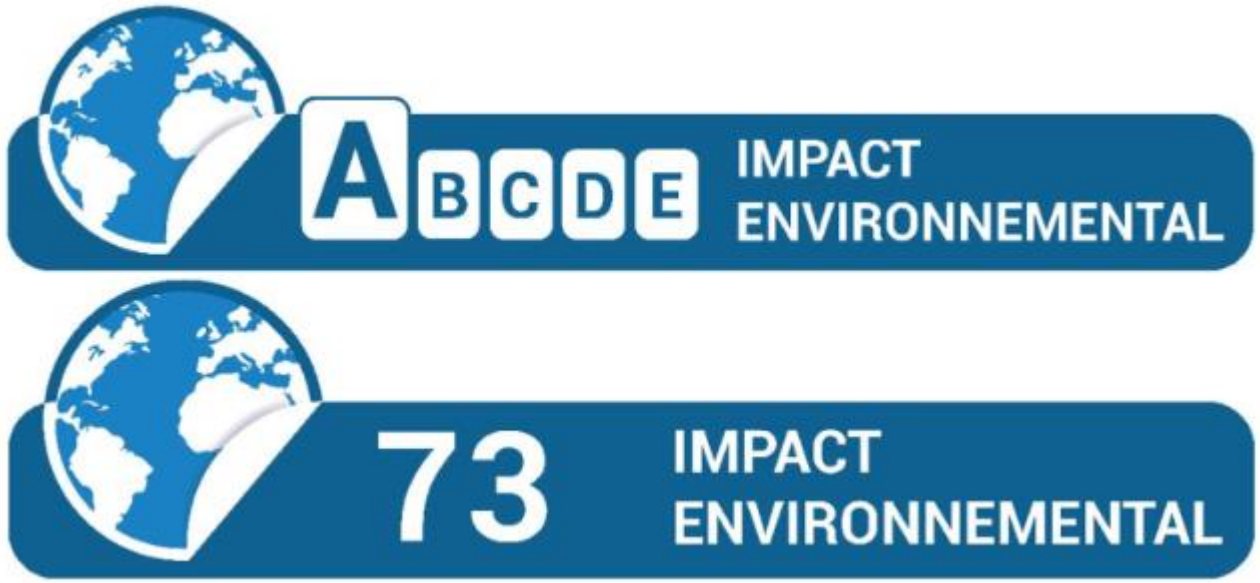
CONTRÔLÉ PAR FR-BIO-01
AGRICULTURE UE/NON-UE

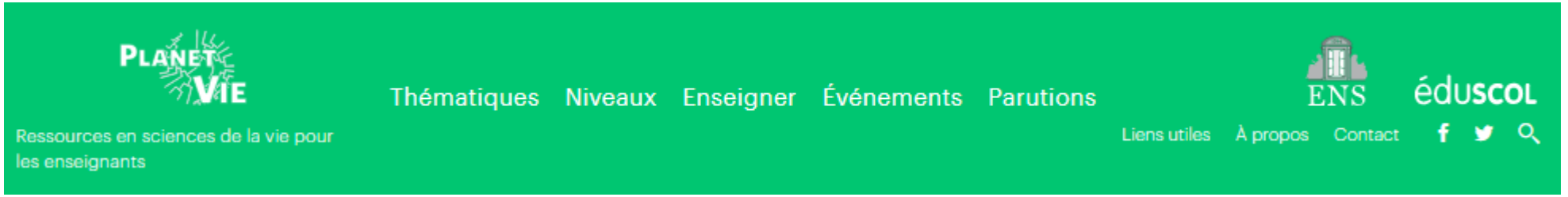
CERTIFIÉ AB AGRICULTURE BIOLOGIQUE

CONCLUSION

Conclusion : où en est l'affichage environnemental des produits alimentaires ?

En expérimentation : eq CO2 et pollution des eaux (analyse de cycle de vie, ACV)
A venir : biodiversité





https://planet-vie.ens.fr/thematiques/ecologie/production-agricole-agrosystemes/structure-et-fonctionnement-des-agrosystemes

<u>Alimentation, on change tout ?</u>

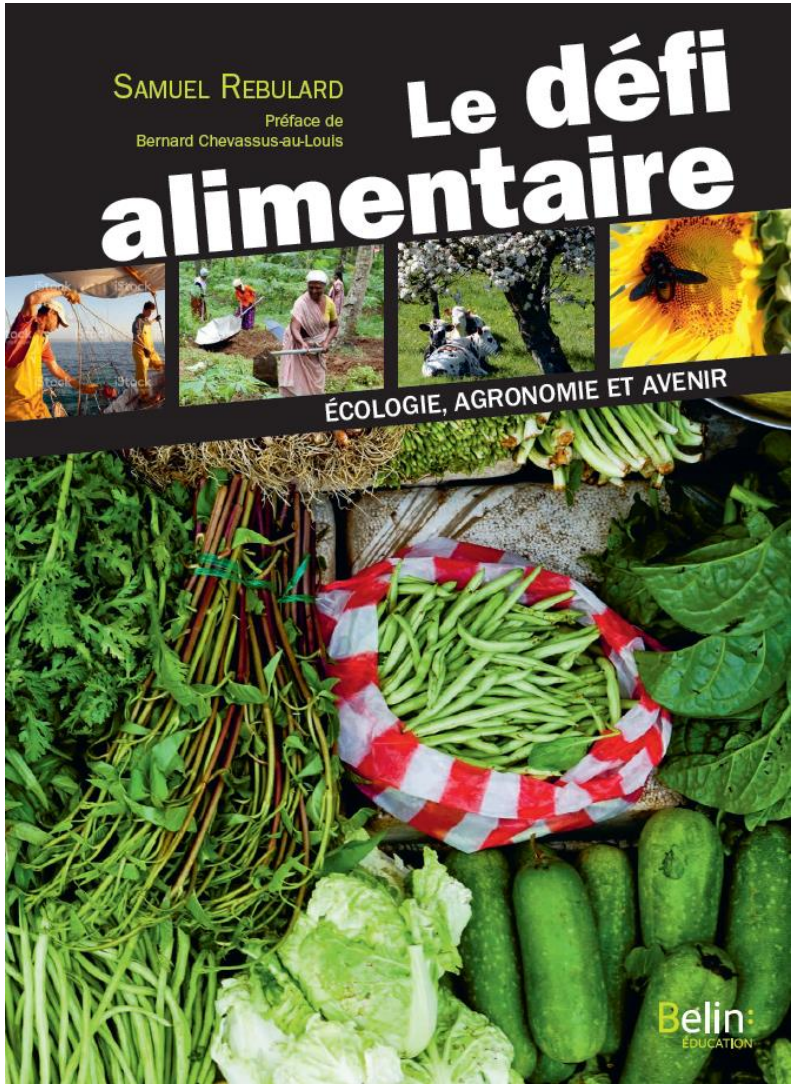
Documentaire en ligne (You Tube) en 6 épisodes de 5 min.

1 – Comment on en est arrivé là ?
2 – A table ?
3 – Bon appétit
4 – On est cuit ?
5 – En route vers le changement
6 – Révolutions alimentaires

de Camille Hélénon et Arthur Rifflet

Avec la participation de :

- Paul Ariès (Politologue de l'alimentation)
- Philippe Cardon (Sociologue)
- Sophie Dubuisson-Quellier (Sociologue)
- Anthony Fardet (Nutritioniste)
- Pascale Hébel (Crédoc)
- Marion Mare (Géographe)
- Samuel Rebulard (Agronome)



Le défi alimentaire

Ecologie, Agronomie et Avenir

Belin: ÉDUCATION, 2018

Pagination : 528
Format : 20.6 x 28.5 cm
Présentation : Broché cousu
ISBN : 978-2-7011-7583-6

Collection « Sciences Supérieur »
PARUTION : 17/10/2018
Prix : 44.9 €

Belin: ÉDUCATION