Systèmes agro-industriels et défi alimentaire

L’agro-écologie comme alternative

Résumé :
Face aux contraintes démographiques, au changement climatique, à l’érosion de la biodiversité et à la multiplication des pollutions, les systèmes alimentaires sont confrontés à des défis sans précédent. Cette conférence propose une analyse des limites du modèle agro-industriel dominant, construit sur la spécialisation des productions, l’usage massif d’intrants et la recherche de rendements élevés.

Si ce modèle a contribué à accroître la production alimentaire mondiale, il génère également de fortes pressions sur les sols, l’eau, le climat et les écosystèmes, tout en fragilisant la résilience des territoires agricoles. Toutefois, les évolutions nécessaires ne peuvent être envisagées sans tenir compte des contraintes techniques, économiques et structurelles auxquelles sont confrontés les agriculteurs.

À travers le regard croisé de l’agronomie et de l’écologie, cette intervention explorera les leviers de transition vers des systèmes plus durables, en intégrant le rôle central des agriculteurs dans la transformation des systèmes alimentaires. L’approche agroécologique sera discutée comme une voie de progrès conciliant production alimentaire, enjeux climatique, préservation des ressources naturelles et de la santé humaine.

Systèmes agro-industriels et défi alimentaire

L'agro-écologie comme alternative



Objectifs d'apprentissage

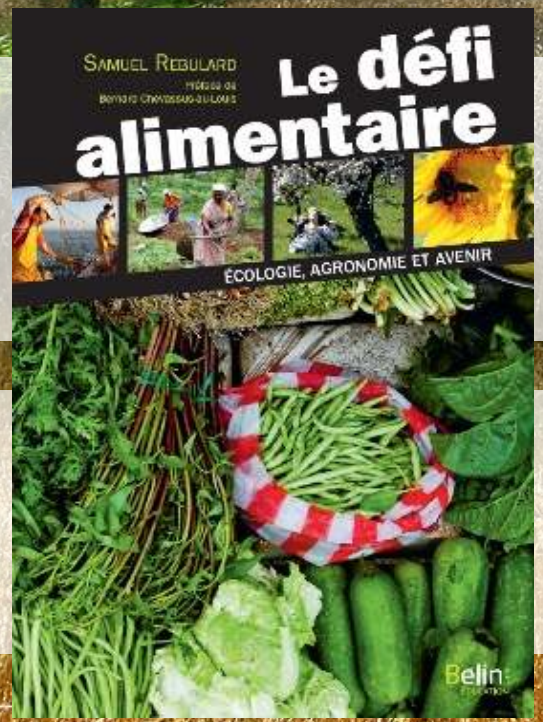
À la fin de la présentation, la personne participante sera en mesure de :

1. **Expliquer** les limites du modèle agro-industriel dominant au regard des sols, de l'eau, du climat et de la biodiversité.
2. **Comparer** le modèle agro-industriel et l'approche agroécologique quant à la production alimentaire, aux ressources naturelles et à la santé humaine.
3. **Examiner** le rôle et les contraintes des agriculteurs dans la transition vers des systèmes alimentaires viables.

Systèmes agro-industriels et défi alimentaire

L'agro-écologie comme alternative





3ème Journées Francophones de

Médecine Culinaire

18, 19 et 20 novembre 2026

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@universite-paris-saclay.fr

© Bertrand Nicolas / INRAE.

Conflits d’intérêts

Divulgation du conférencier : Samuel REBULARD

Relations avec des commanditaires

• Ce programme a reçu un soutien non financier de la part des Journées Francophones de Médecine Culinaire sous forme de prise en charge des transports, de l’hébergement et des repas

Divulgation du soutien financier

Le présentateur présente un biais réel ou potentiel.

• Samuel Rebulard est l’auteur d’un livre « Le défi alimentaire, écologie, agronomie, avenir » aux éditions Belin Education, 2018, dont certaines conclusions seront présentées dans le programme.



INTRODUCTION



© Agroforesterie.fr



1 - La révolution agricole du XXème siècle :

des objectifs atteints, mais …

© Agroforesterie.fr

Un siècle d'innovations technologiques agricoles

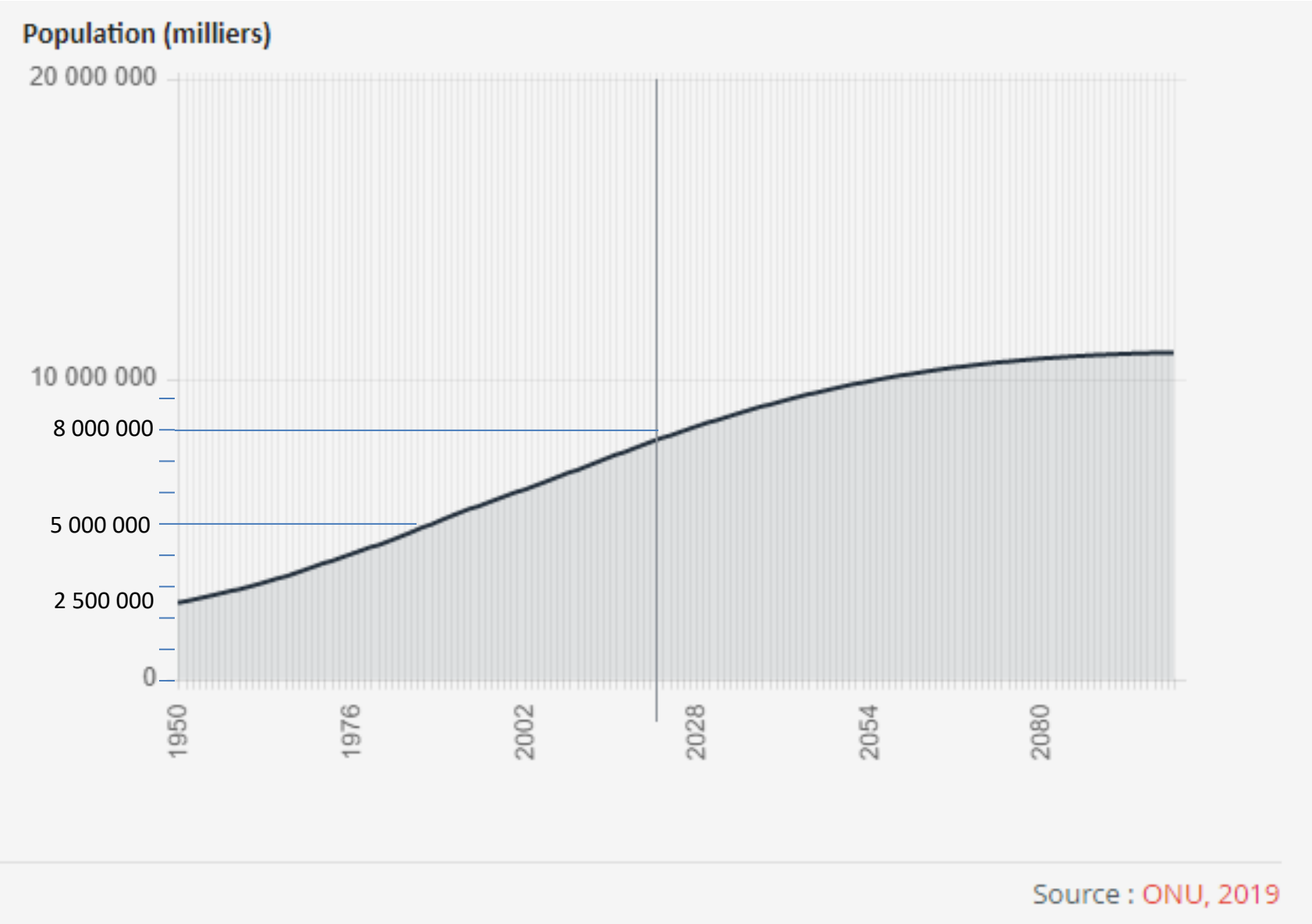


Une famille d'agriculteurs qui récolte le blé dans leurs champs à Saint-Anaclet, Québec (vers 1948)
Source : J.-Gérard Lacombe, Bibliothèque et Archives nationales du Québec.



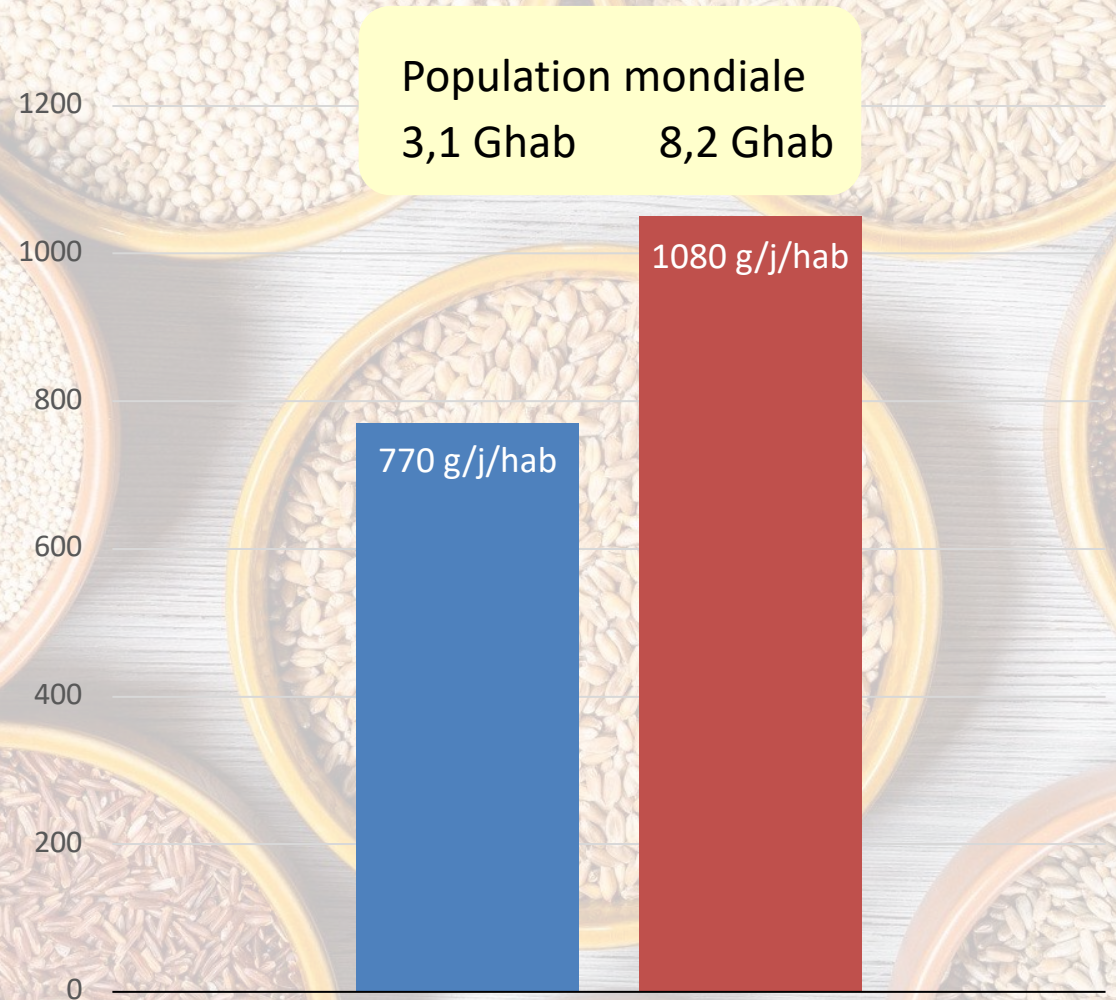
Fabrication du beurre (1912)

Une population mondiale qui va se stabiliser un peu au-dessus de 10 milliards de personnes



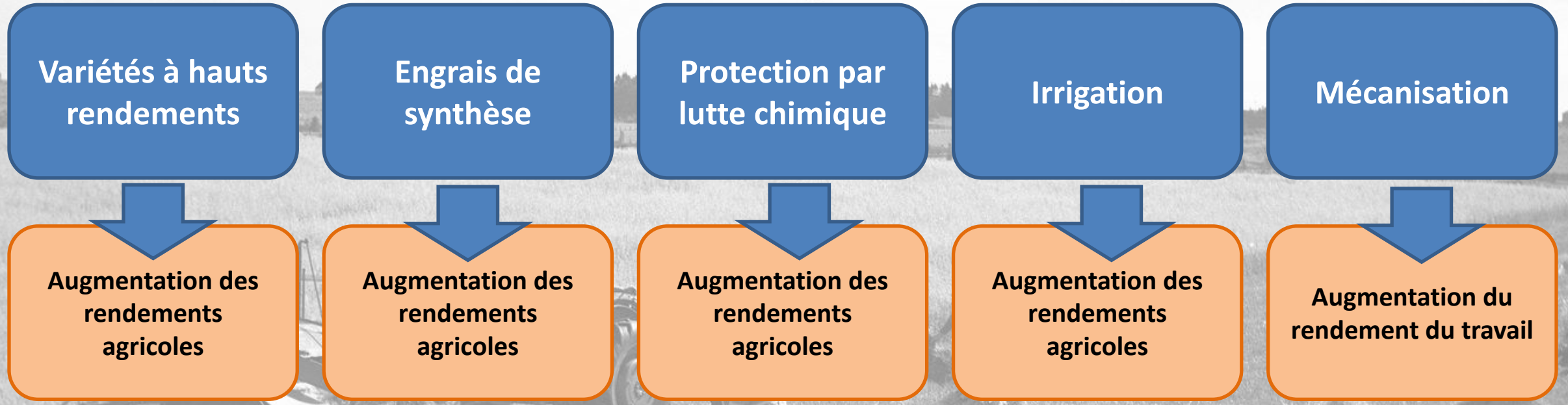
Représentation Ined

Une disponibilité alimentaire qui croit plus vite que la population mondiale



FAO stat

Les 5 leviers techniques de la révolution du XXe siècle



La logique du modèle agro-industriel



- **Spécialiser**. Chaque ferme, et chaque région, se concentre sur peu de productions, celles où elle est la plus compétitive
- **Intensifier**. On augmente les rendements en apportant des intrants, engrais, pesticides, énergie
- **Standardiser**. On uniformise les variétés, les pratiques, les produits, pour fournir de gros volumes à l'industrie.

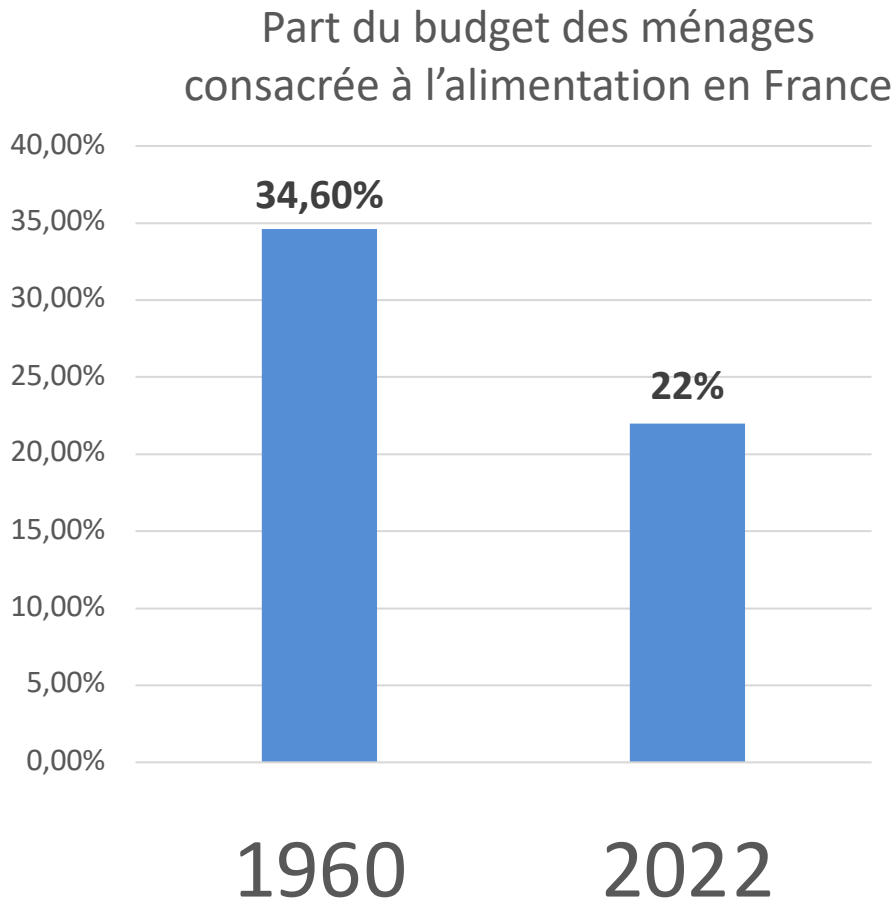
Vue aérienne de la Beauce, France

Conséquence pour les consommateurs

















Insee



2 - Les limites du modèle agro-industriel :

Pressions sur les sols, l'eau, le climat, la biodiversité, la santé humaine

© Agroforesterie.fr

Le Dust Bowl, conséquence du travail intensif des sols.



Un père et ses deux fils pris dans une tempête de poussière,
Oklahoma, avril 1936.

Source – Arthur Rohnstein, Library of Congress

Les sols nus sont vulnérables



Lors d'épisodes pluvieux, le ruissellement peut se concentrer et former des ravines qui emportent la terre arable, les éléments nutritifs et parfois les jeunes cultures. Les particules érodées peuvent ensuite être transportées vers les cours d'eau.

Centre Iowa, États-Unis.

Source : Lynn Betts USDA, Iowa State University

Des impacts environnementaux et sanitaires négatifs de l'agriculture

Erosion des sols

- 30 % des sols agricoles dégradés
- 5t de sol/an perdu par personne en moyenne

L'agriculture irriguée face à la raréfaction de la ressource en eau

(TWS : Terrestriel Water Storage)

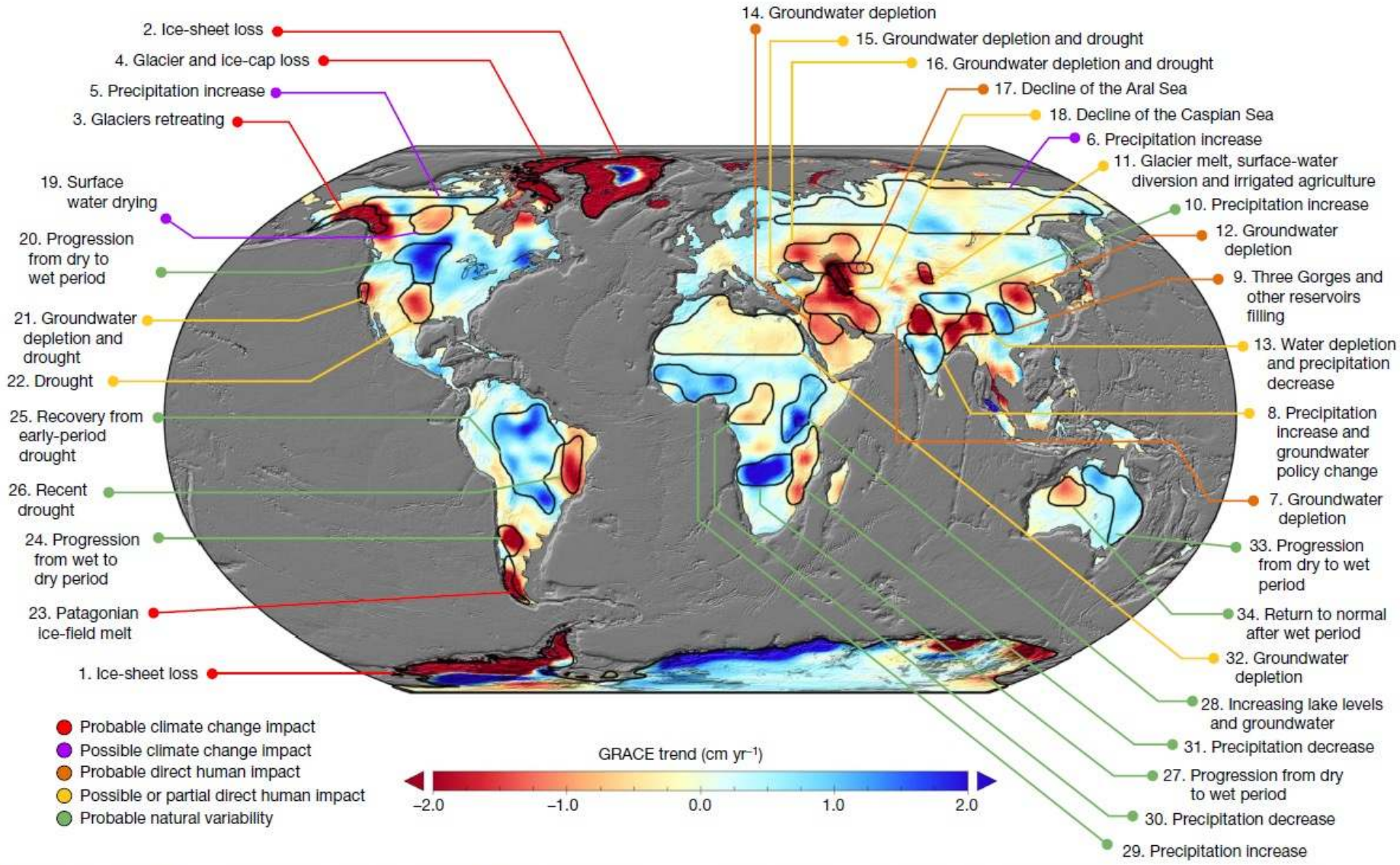


Fig. 1 | Annotated map of TWS trends. Trends in TWS (in centimetres per year) obtained on the basis of GRACE observations from April 2002 to March 2016. The cause of the trend in each outlined study region is briefly explained and colour-coded by category. The trend map was smoothed with a 150-km-radius Gaussian filter for the purpose of visualization; however, all calculations were performed at the native 3° resolution of the data product.

Rodell, M., Famiglietti, J. S., Wiese, D. N., Reager, J. T., Beaudoing, H. K., Landerer, F. W., & Lo, M. H. (2018). Emerging trends in global freshwater availability. *Nature*, *557*(7707), 651-659.

Conflits pour l'eau d'irrigation : exemple de la vallée impériale, Californie



Photo aérienne de la frontière Etats-Unis Mexique au niveau de la vallée impériale
Source : Google maps / S.Rebulard

Conflits pour l'eau d'irrigation : exemple de la vallée impériale, Californie

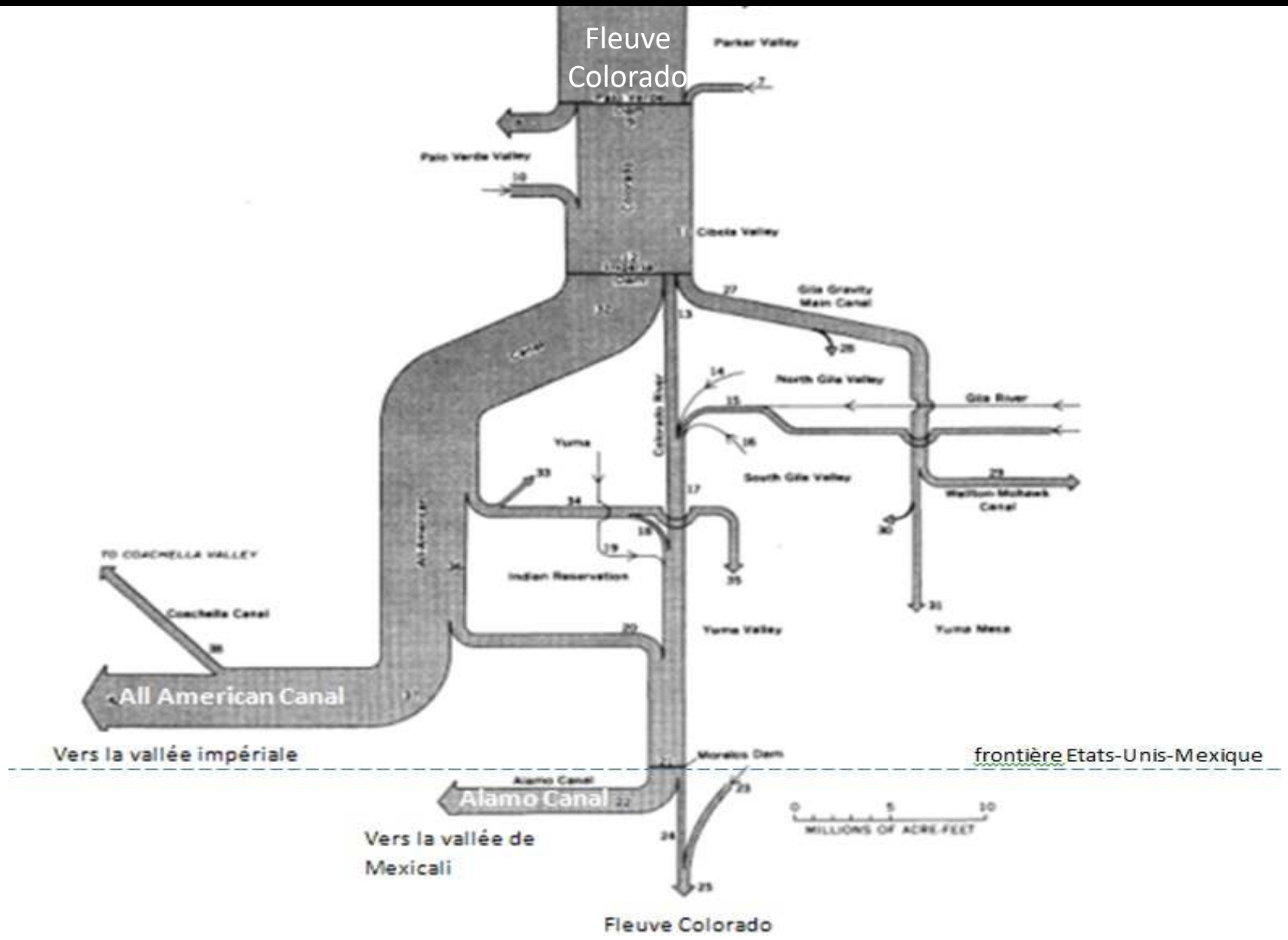


Diagramme de répartition du débit du fleuve Colorado au niveau de la frontière entre les États-Unis et le Mexique

Une ressource en eau en partie gaspillée



Crépuscule sur un champ d'oignons.
Brawley, Imperial Valley, Californie.

Source : Don Bartletti, Los Angeles Times, février 2014.

Des impacts environnementaux et sanitaires négatifs de l'agriculture

Erosion des sols

- 30 % des sols agricoles dégradés
- 5t de sol/an perdu par personne en moyenne

Eau douce

70 % de l'ensemble des prélèvements d'eau sont destinés à l'agriculture pour irriguer 16% des cultures.

Une pollution des eaux généralisée



© USGS datas

La pollution des eaux marines

Ces eaux apportent également des **nutriments riches en phosphore et en azote** qui favorisent la prolifération d'algues, entraînant la formation d'une vaste **zone annuelle pauvre en oxygène, dite « morte »**, au large des côtes, qui persiste jusqu'à l'hiver.

Source : Norman Kuring, NASA,



Des impacts environnementaux et sanitaires négatifs de l'agriculture

Erosion des sols

- 30 % des sols agricoles dégradés
- 5t de sol/an perdu par personne en moyenne

Eau douce

70 % de l'ensemble des prélèvements d'eau sont destinés à l'agriculture pour irriguer 16% des cultures.

Pollutions des sols et des eaux

OCDE, 2019

Des impacts environnementaux et sanitaires négatifs de l'agriculture

Erosion des sols

- 30 % des sols agricoles dégradés
- 5t de sol/an perdu par personne en moyenne

Biodiversité

-30 % en 30 ans de l'abondance des oiseaux agricoles *Stoc/MnHn*

- 55% aux Etats-Unis

- 75% en 27 ans de la biomasse d'insectes

Hallman et al. *2017*

4 Mha/an déforestation pour l'agriculture

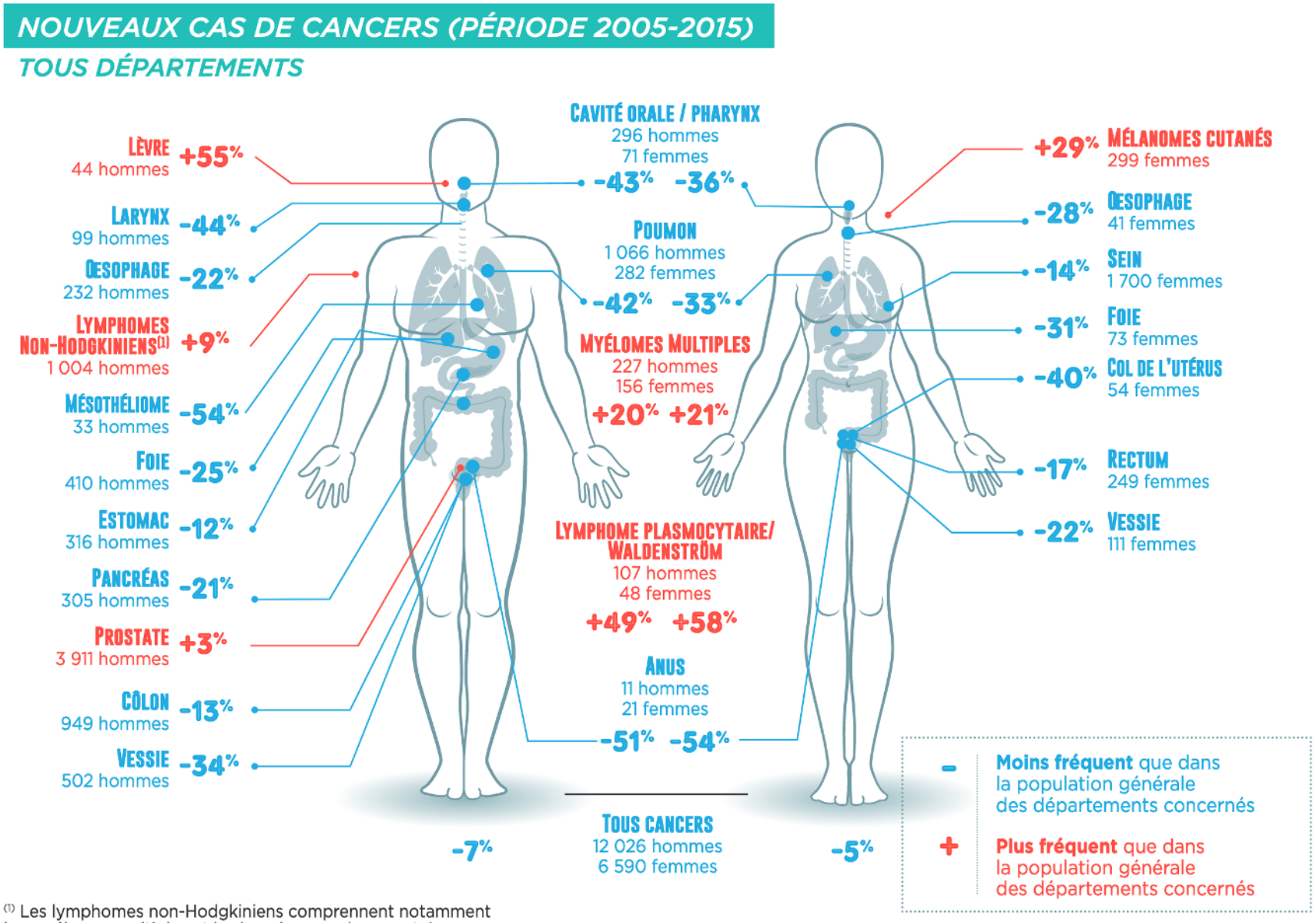
Eau douce

70 % de l'ensemble des prélèvements d'eau sont destinés à l'agriculture pour irriguer 16% des cultures.

Pollutions des sols et des eaux

OCDE, 2019

Conséquences des pesticides pour la santé des professionnels (étude AGRICAN, France)



(1) Les lymphomes non-Hodgkiniens comprennent notamment les myélomes multiples et les lymphomes plasmocytaires

Des impacts environnementaux et sanitaires négatifs de l'agriculture

Eau douce

70 % de l'ensemble des prélèvements d'eau sont destinés à l'agriculture pour irriguer 16% des cultures.

Pollutions des sols et des eaux

OCDE, 2019

Erosion des sols

- 30 % des sols agricoles dégradés
- 5t de sol/an perdu par personne en moyenne

Biodiversité

-30 % en 30 ans de l'abondance des oiseaux agricoles *Stoc/MnHn*

- 55% aux Etats-Unis

- 75% en 27 ans de la biomasse d'insectes

Hallman et al. *2017*

4 Mha/an déforestation pour l'agriculture

Santé humaine (engrais de synthèse)

- Troubles rénaux, squelettique (cadmium)
- Troubles respiratoires (ammoniac)

Santé humaine (pesticides)

Chez la femme enceinte

- Diminution du poids des bébés (Atrazine) *Pélagie, 2009*

Chez les agriculteurs

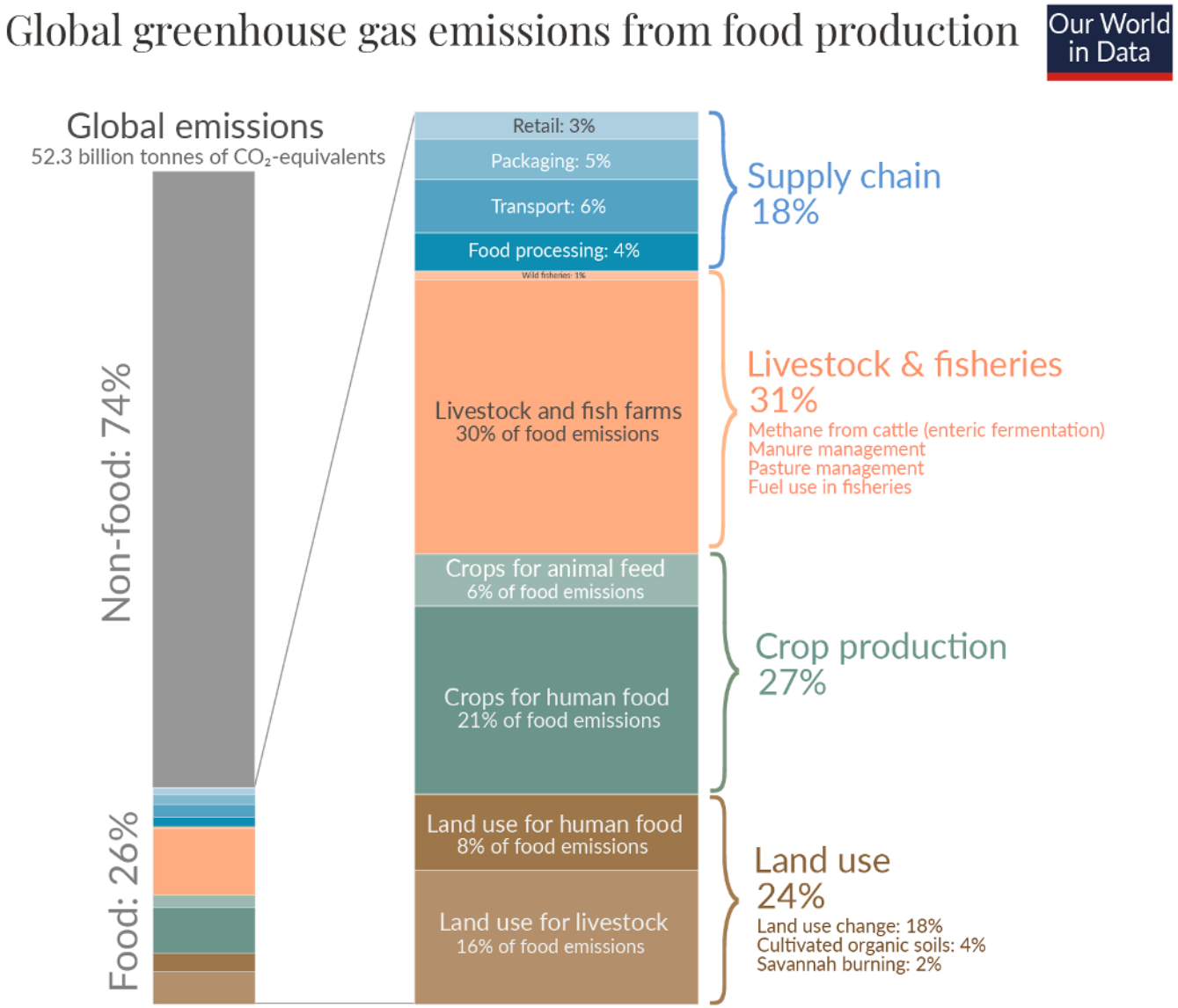
- Liens confirmés avec cancer de la prostate, les lymphomes non hodgkiniens, myélomes multiples, maladie de Parkinson, troubles cognitifs, bronchite chronique
- Liens soupçonnés avec la maladie d'Alzheimer *Inserm, 2021*

Chez l'enfant

- Altération des capacités motrices et cognitives
- Triplement du risque de leucémie aigüe

Inserm, 2021

Emissions mondiale de GES (%) par les systèmes alimentaires.



Data source: Joseph Poore & Thomas Nemecek (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. Published in *Science*.

Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie (Nov 2022).

Gaz à effet de serre agricoles

- CO_2 = 1 éq. CO_2
- CH_4 (méthane) = 30 éq. CO_2
- N_2O (protoxyde d'azote) = 265 éq. CO_2

Des impacts environnementaux et sanitaires négatifs de l'agriculture

Changement climatique

26% des émissions mondiales de GES

Giec

Eau douce

70 % de l'ensemble des prélèvements d'eau sont destinés à l'agriculture pour irriguer 16% des cultures.

Pollutions des sols et des eaux

OCDE, 2019

Erosion des sols

- 30 % des sols agricoles dégradés
- 5t de sol/an perdu par personne en moyenne

Biodiversité

-30 % en 30 ans de l'abondance des oiseaux agricoles *Stoc/MnHn*

- 55% aux Etats-Unis

- 75% en 27 ans de la biomasse d'insectes

Hallman et al. 2017

4 Mha/an déforestation pour l'agriculture

Santé humaine (engrais de synthèse)

- Troubles rénaux, squelettique (cadmium)
- Troubles respiratoires (ammoniac)

Santé humaine (pesticides)

<u>Chez la femme enceinte</u>

- Diminution du poids des bébés (Atrazine) *Pélagie, 2009*

<u>Chez les agriculteurs</u>

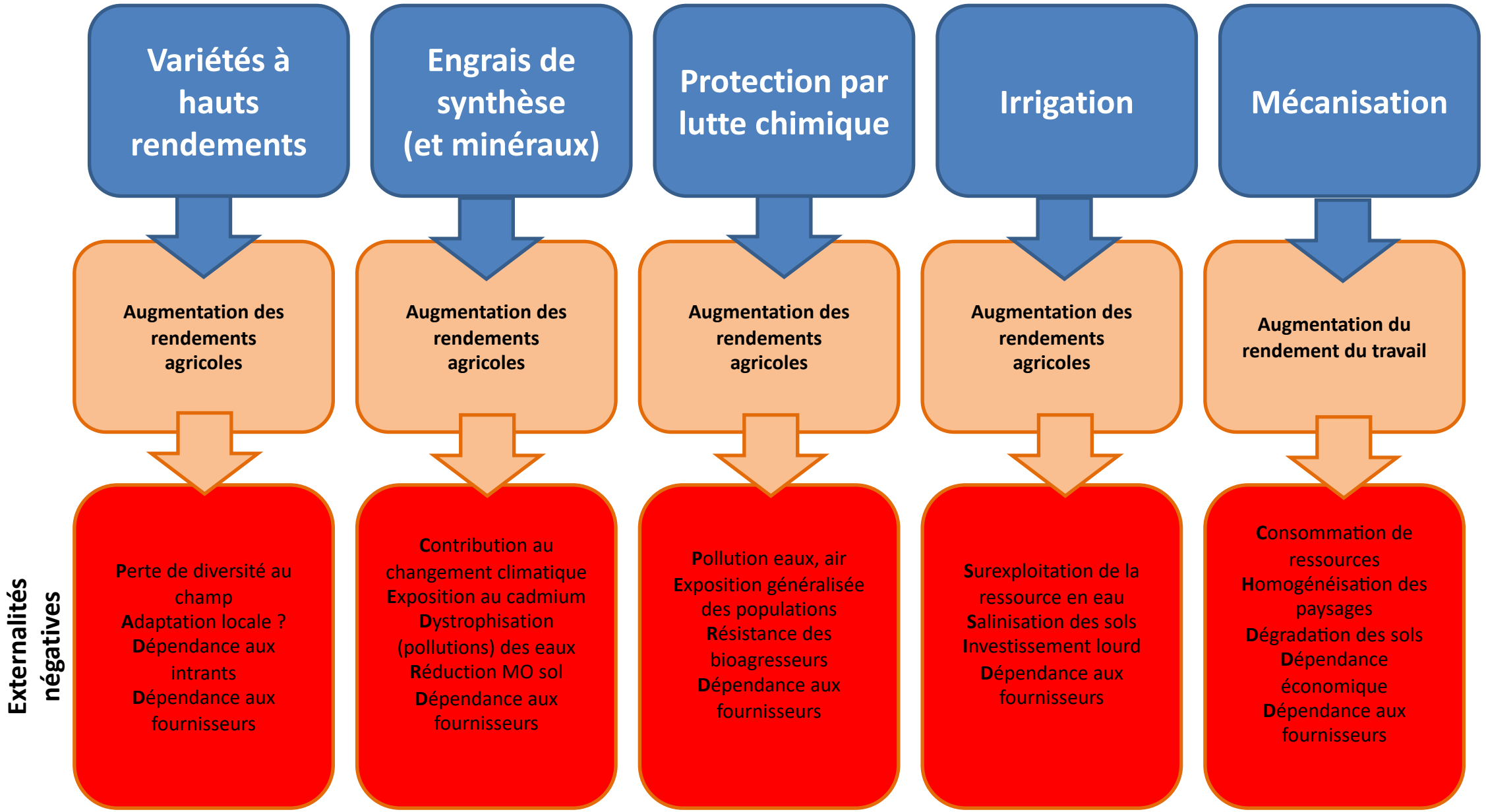
- Liens confirmés avec cancer de la prostate, les lymphomes non hodgkiniens, myélomes multiples, maladie de Parkinson, troubles cognitifs, bronchite chronique
- Liens soupçonnés avec la maladie d'Alzheimer *Inserm, 2021*

<u>Chez l'enfant</u>

- Altération des capacités motrices et cognitives
- Triplement du risque de leucémie aigüe

Inserm, 2021

Les 5 leviers techniques de la révolution agricole du XXe siècle

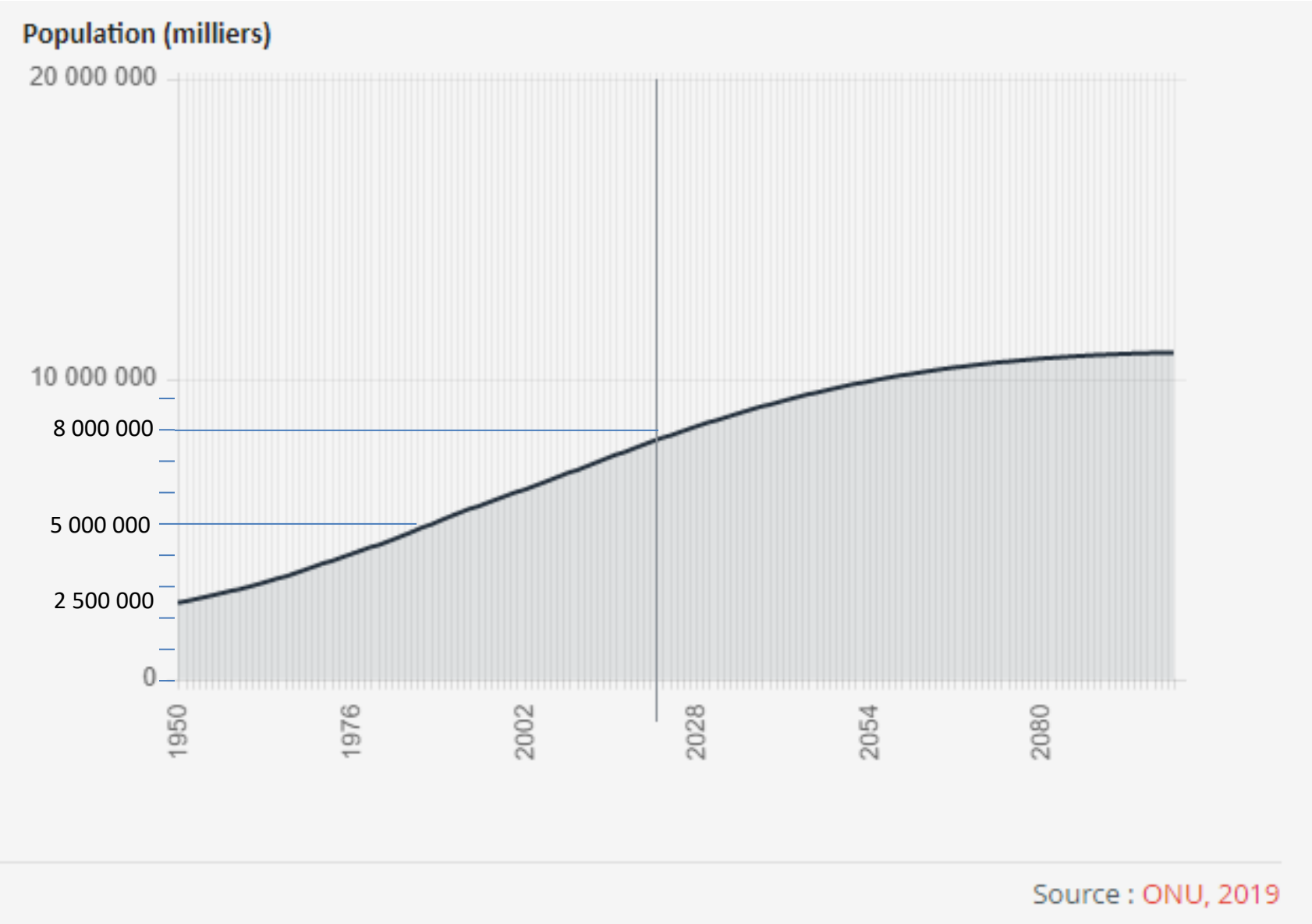




3 - L’agroécologie : principes et preuves de performance

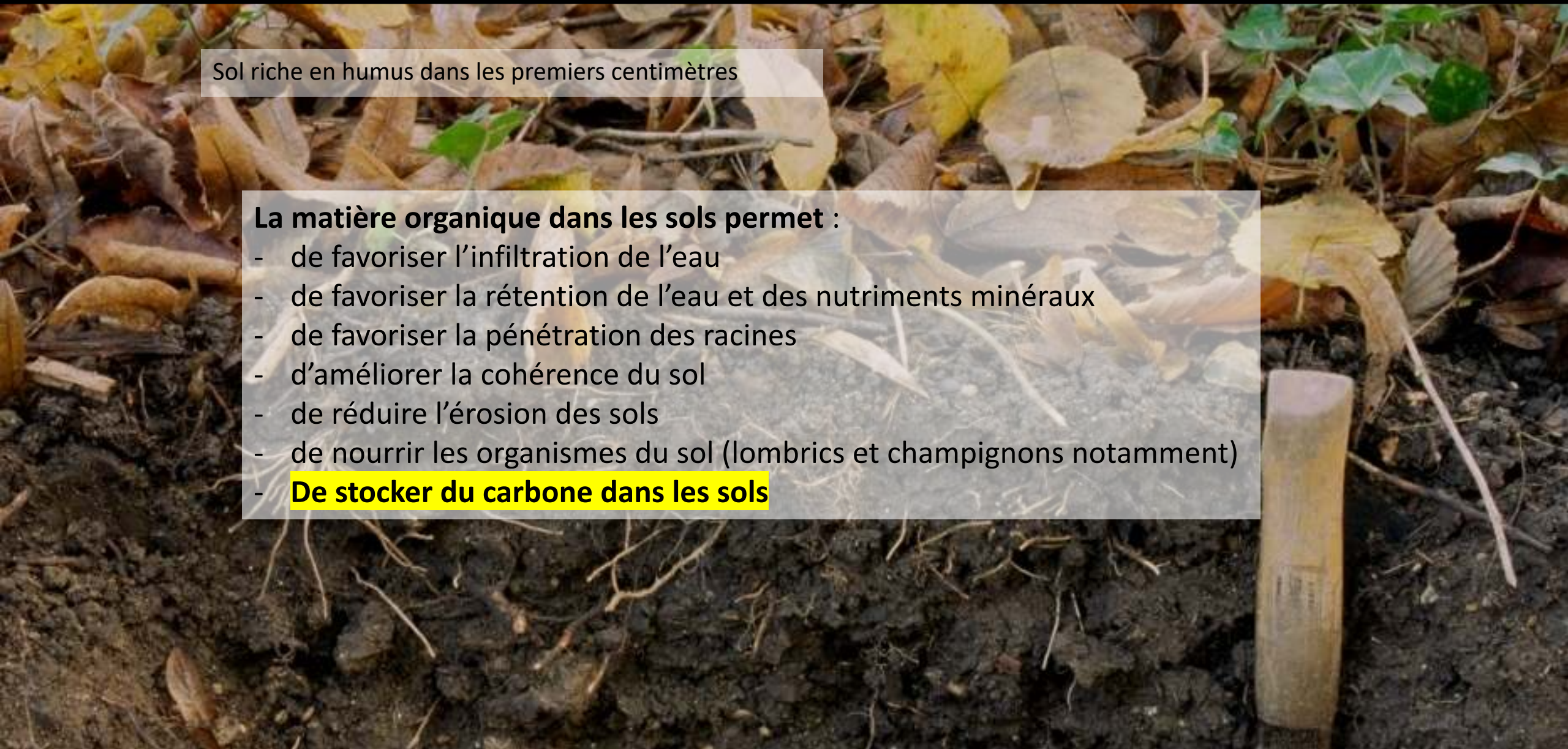
© Agroforesterie.fr

Une population mondiale qui va se stabiliser un peu au-dessus de 10 milliards de personnes



Représentation Ined

L’importance de la matière organique



Sol riche en humus dans les premiers centimètres

La matière organique dans les sols permet :

- de favoriser l’infiltration de l’eau
- de favoriser la rétention de l’eau et des nutriments minéraux
- de favoriser la pénétration des racines
- d’améliorer la cohérence du sol
- de réduire l’érosion des sols
- de nourrir les organismes du sol (lombrics et champignons notamment)
- **De stocker du carbone dans les sols**

Augmenter la teneur en matière organique (donc en carbone) des sols

Pratiques agroécologiques pour **l'ATTENUATION CLIMATIQUE**

Agriculture de conservation

\- **de labour et de travail des sols**

\+ **de couverts végétaux permanents**

Agriculture biologique

\+ **d'engrais organiques (fumiers, compost, légumineuses)**

Agroforesterie

\+ **d'arbres dans et en bord des champs**

Elevage herbager

\+ **de prairies permanentes**

= + **de MO (matière organique)<**

Plantes de couverture entre cultures principales





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



Couverture permanente des sols



Paillis au pied de pommiers

© L.Boyer - Durabilité des vergers du Québec



Culture intermédiaire de couvert

© USDA, Cover Crop Manapement, 2024



Trèfle incarnat implanté entre les rangs de maïs

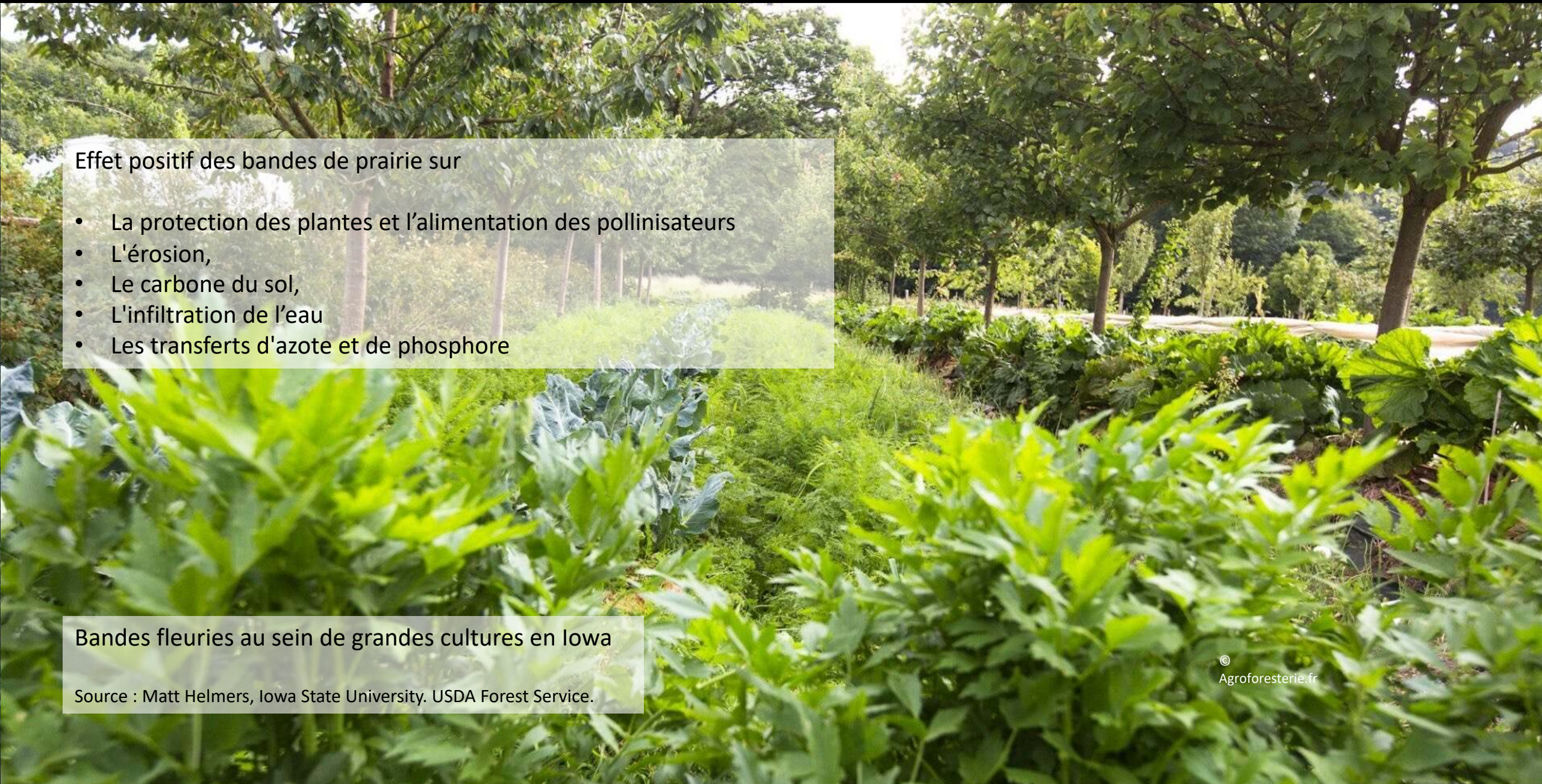
© USDA, Cover Crop Manapement, 2024

Avantages de la couverture permanente des sols.



- **Réduire l'érosion** en surface, l'érosion par le vent et l'érosion éolienne.
- Maintenir ou **augmenter la matière organique** du sol.
- **Améliorer la stabilité** de l'agrégat du sol.
- **Améliorer l'habitat** des organismes du sol.
- **Réduire la dégradation** de la qualité de l'eau en valorisant les nutriments excédentaires du sol.
- **Réduire** la pression exercée **par les mauvaises herbes** et les ravageurs des cultures.
- **Favoriser l'infiltration** de l'eau
- **Améliorer** la gestion de **l'humidité.**
- **Réduire le compactage** du sol.
- **Fournir de l'azote** à la culture suivante.
- [Fournir de l'alimentation aux pollinisateurs et autres auxiliaires de culture]

Les bandes fleuries : une source d'hétérogénéité



Effet positif des bandes de prairie sur

- La protection des plantes et l'alimentation des pollinisateurs
- L'érosion,
- Le carbone du sol,
- L'infiltration de l'eau
- Les transferts d'azote et de phosphore

Bandes fleuries au sein de grandes cultures en Iowa

Source : Matt Helmers, Iowa State University. USDA Forest Service.

© Agroforesterie.fr

L'agroforesterie : retour des arbres en agriculture

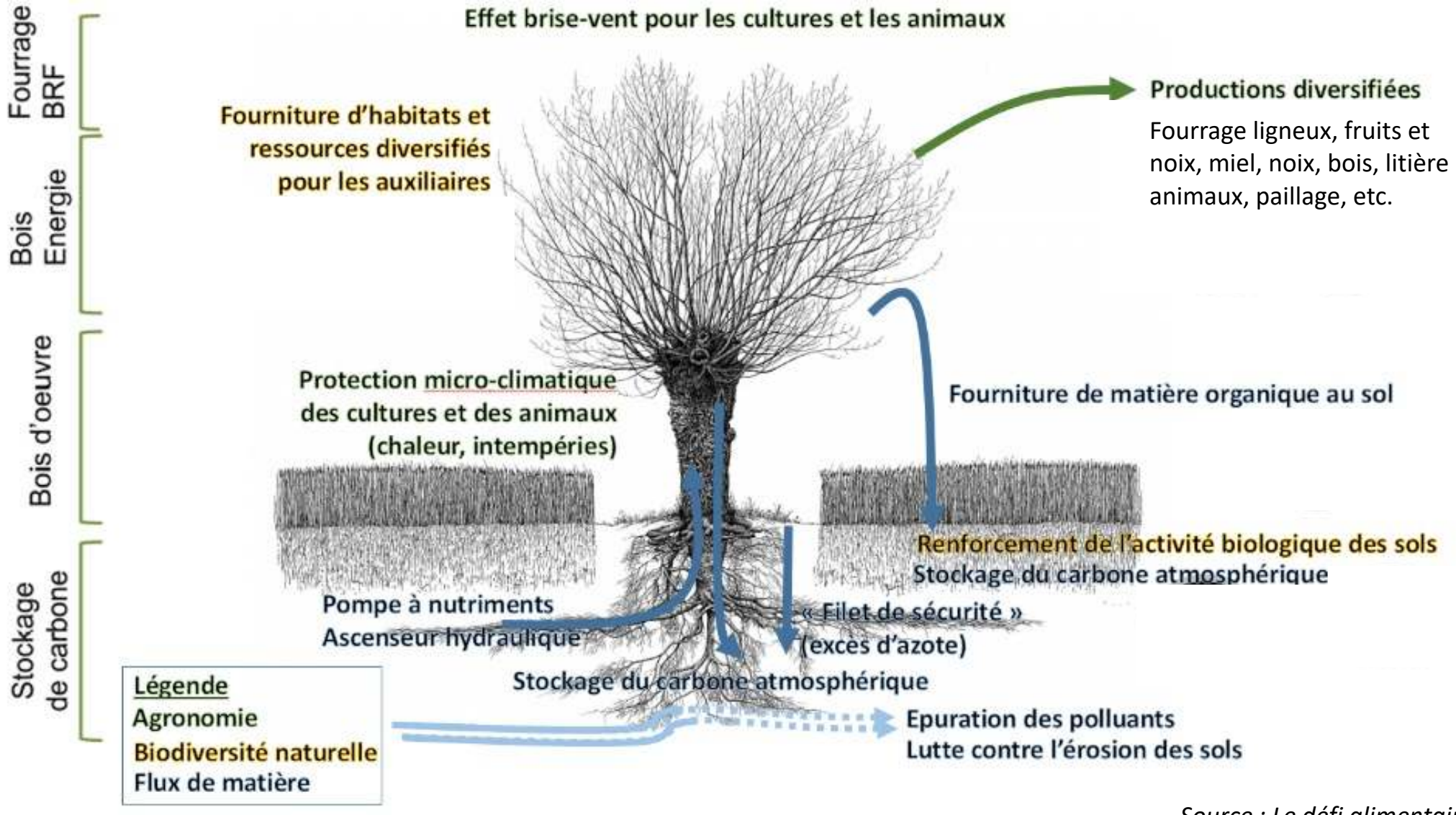


Plantation agroforestière de 20 ans en grande culture

=> Rendement global (bois + céréales) sur 20 ans : +30% à 40%

Photo C.Dupraz

Bénéfices de l'agroforesterie



Source : Le défi alimentaire, Rebulard, 2018, d'après Agrofresterie.fr

Fonctions des arbres associés à d'autres productions agricoles.

Agroforesterie : un exemple tropical parmi de nombreux autres

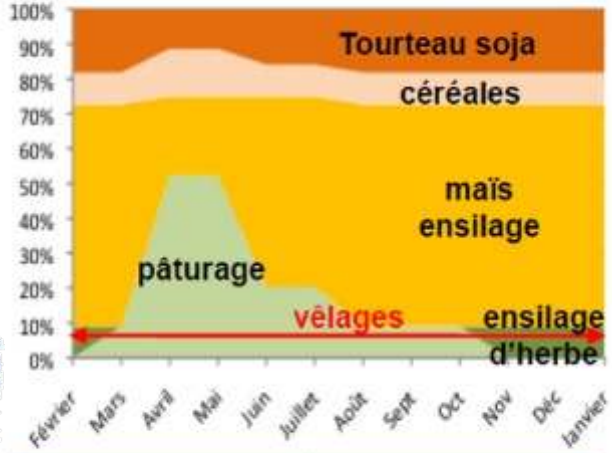


Plantation de café arabica sous ombrage en systèmes agroforestiers, au Nicaragua © E. Penot, Cirad

Comparaison de l'alimentation de vaches laitières bretonnes

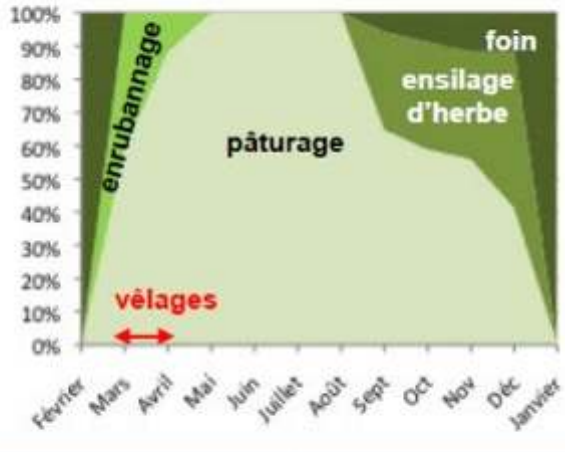


Elevage laitier conventionnel



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

Elevage laitier 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 récoltée 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.

CGDD, Devienne, 2017

Il y a élevages et élevages



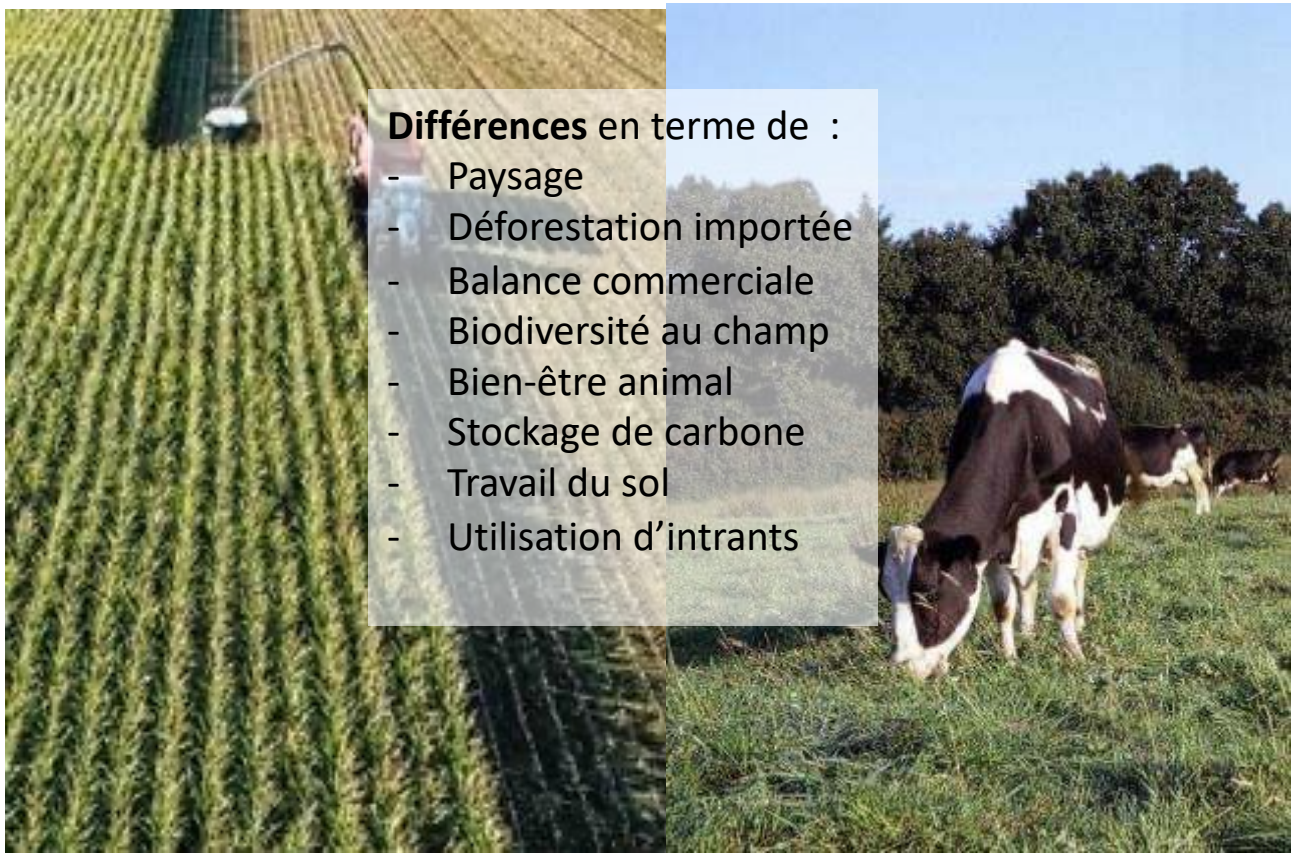
Elevage bovin concentré
Vue aérienne du parc d'engraissement de Harris Ranch Coalinga, vallée de San Joaquin, Californie
© Peter Menzel.



Vaches sur prairie en Bretagne
© Shutterstock

Comparaison de l'alimentation de vaches laitières bretonnes





Différences en terme de :
- Paysage
- Déforestation importée
- Balance commerciale
- Biodiversité au champ
- Bien-être animal
- Stockage de carbone
- Travail du sol
- Utilisation d'intrants



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.

CGDD, Devienne, 2017

Agriculture biologique – arguments de la Cour des Comptes

Certifiée sur la base d'un cahier des charges précis

Santé des agriculteurs

Moindre exposition des agriculteurs aux pesticides (25 autorisés / 460 conventionnels)

Réduction de risques :
Cancer de la prostate, lymphome non hodgkinien, myélome multiple, maladie de Parkinson

Santé de la population générale

Moindre exposition de la population générale :
1,3 % de dépassement des LMR contre 4,1%

Réduction du stress oxydatif (impliqué dans certains cancers et maladies neurodégénératives)

Plus faibles risques :
- D'être en surpoids
- De syndrome métabolique
- De diabète de type 2
- De cancer dus sein
- D'eczéma chez l'enfant
- De pré-éclampsie chez les mères

Bien-être animal

- Pas d'animaux attachés
- Accès au plein air
- Litière obligatoire
- Limitation de densité
- Cages interdites
- Moins de pathologies
- Moins d'antibiotiques

Economie

Plus d'emploi et meilleurs revenus agricoles

Le soutien à l'agriculture biologique - juin 2022 - Cour des comptes

Agriculture biologique – arguments de la Cour des Comptes

Eau

Agriculture plus économe et plus résiliente en cas de sècheresse.

Réduction des pollutions aux pesticides et aux nitrates (coût de dépollution évalué à un milliard d'euros)

Sols

Amélioration de la fertilité
Plus de stockage de carbone

Air

Réduction de l'exposition aux pesticides présents dans l'air (32 substances dangereuses sur 75 trouvées).
Réduction de l'exposition à l'ammoniac et aux oxydes d'azote

Biodiversité

- 30% d'espèces en plus
- Abondance de la faune et de la flore en moyenne 50% supérieure

Climat

- Favorise le stockage du carbone (prairie permanente, amendements organiques)
- Moindre émission de protoxyde d'azote (car pas d'engrais de synthèse)
- Recherche d'autonomie et réduction des intrants
- Plus de circuits courts

MAIS Rendements inférieurs (-20%) => plus de surfaces nécessaires

Le soutien à l'agriculture biologique - juin 2022 - Cour des comptes

Agriculture biologique – opportunité de généralisation

Généralisation de l'agriculture biologique demanderait **16 à 33% de surface cultivée supplémentaire** (Muller *et al.*, 2017).

Néanmoins, à surface égale, cette généralisation est possible :

- s'il y a une réduction de la consommation de **viande**
- s'il y a une réduction des **pertes et gaspillage**

Foley, 2012 ; Muller, 2017 ; Iddri 2018 ; Inrae-Cirad, 2018 ; CNRS, 2021

Réponses de l'agroécologie aux enjeux environnementaux et de disponibilité alimentaire

Maintien de la **disponibilité alimentaire**

- Réduction pertes et **gaspillage**
- Exploiter **complémentarité** et compétitions entre productions

Réduction des **engrais de synthèse**

- Cultiver + de **légumineuses**
- Utiliser Engrais **organiques** (fumiers)
- **Augmenter MO** sols

Réduction des **pesticides**

- **Diversifier les cultures** dans l'espace et dans le temps
- S'appuyer sur les **auxiliaires et la lutte biologique**

Atténuation **climatique**

- Réduire **viande**
- Réduire **engrais azotés**
- Réduire **déforestation**
- **Stocker MO** dans les sols
- Augmenter **légumineuses**

Aggradation de **la biodiversité**

- Réduire **pesticides**
- Réduire **travail du sol**
- **Couvrir** les sols
- **Mélanger** les productions

Préserver les **ressources en eau**

- **Couvrir** les sols
- Augmenter **la MO des sols**
- Adapter les productions au **climat local**

Réduction des **de l'érosion des sols**

- **Couvrir** les sols
- Augmenter **la MO des sols**

Réduction des **pollutions**

- Réduire les **engrais azotés**
- Réduire **les pesticides**
- **Couvrir** les sols

Améliorer l'impact **sanitaire de l'agriculture**

- Réduire les **engrais azotés**
- Réduire **les pesticides**
- Réduire **les céréales (Cd)**
- **Couvrir** les sols



4 - Les agriculteurs et les verrouillages socio-techniques

© Agroforesterie.fr

Comment amener les agriculteurs à faire évoluer leurs pratiques ?



FREINS

- **Difficultés techniques et manque de connaissances** nécessaires à l'innovation
- **Contexte socio-professionnel** inhibiteur
- **Risque économique**
- **Manque de confiance** dans les alternatives

LEVIERS

- **Montée en compét**ence (formation) et partage d'expérience (meilleures pratiques) sur les alternatives aux pesticides et engrais de synthèse
- **Rétribution** des services écologiques
- **Recherche** appliquée et **conseil** technique
- **Débouchés en aval** pour les productions diversifiée et de qualité
- **Accès à la terre** et aide à la relève

Séance de démonstration dans le bassin versant de la Rivière-aux-Brochets, Québec

Source : Marie-Claude Riel, CRAAQ



Conclusion

© Agroforesterie.fr

Principaux messages

1. Le **modèle agro-industriel a nourri le monde, mais il a atteint des limites**

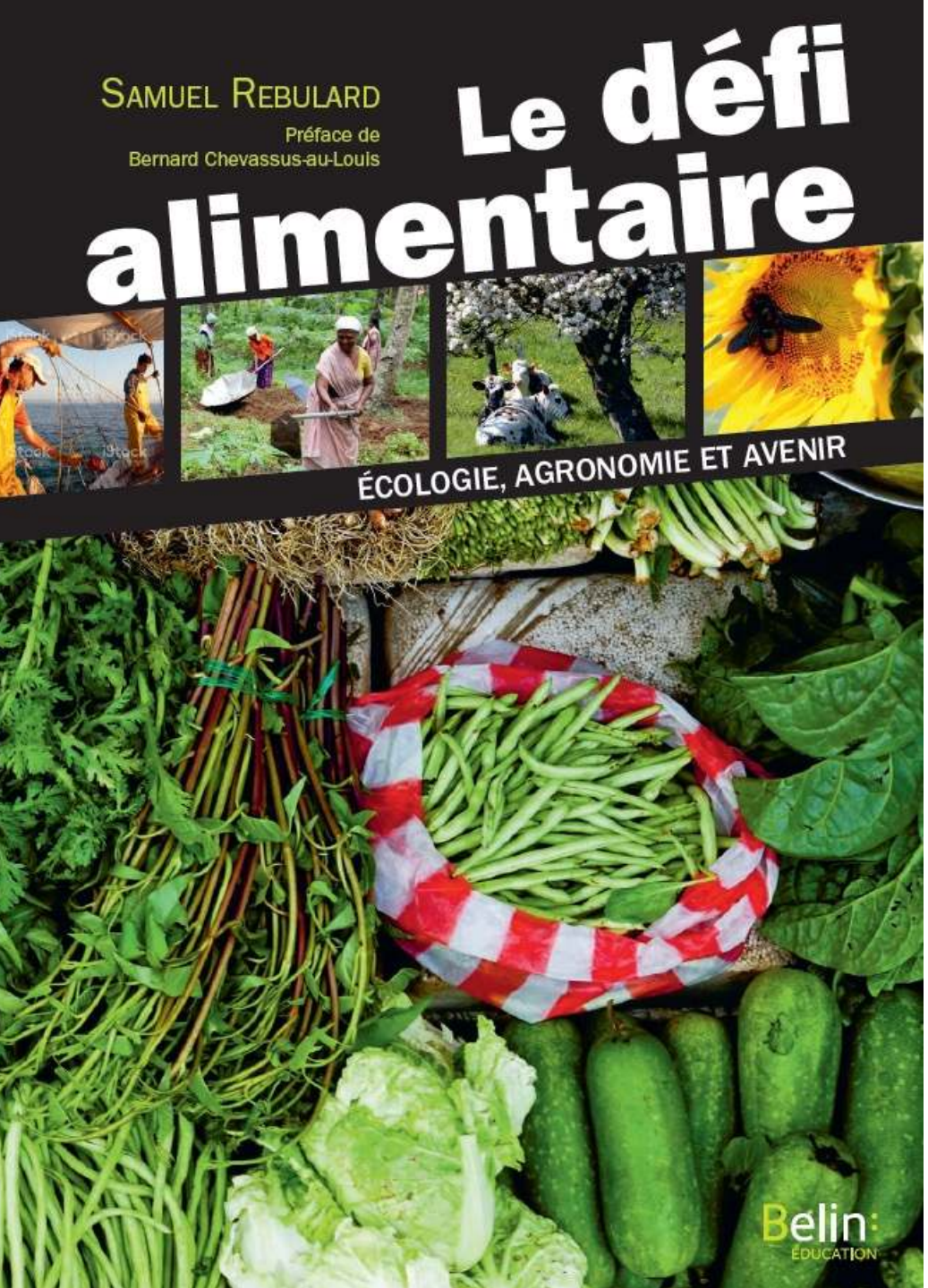
2. **Une autre voie, l'agroécologie,** propose des alternatives diversifiées porteuses de nombreux bénéfices (environnementaux, sanitaire et sociaux)

3. **Rien ne se fera sans les agriculteurs**, ni contre eux. Ils ont besoin d'accompagnement, de formation, de rétribution, de débouchés et de reconnaissance.



Merci !

© Agroforesterie.fr



Le défi alimentaire

Ecologie, Agronomie et Avenir

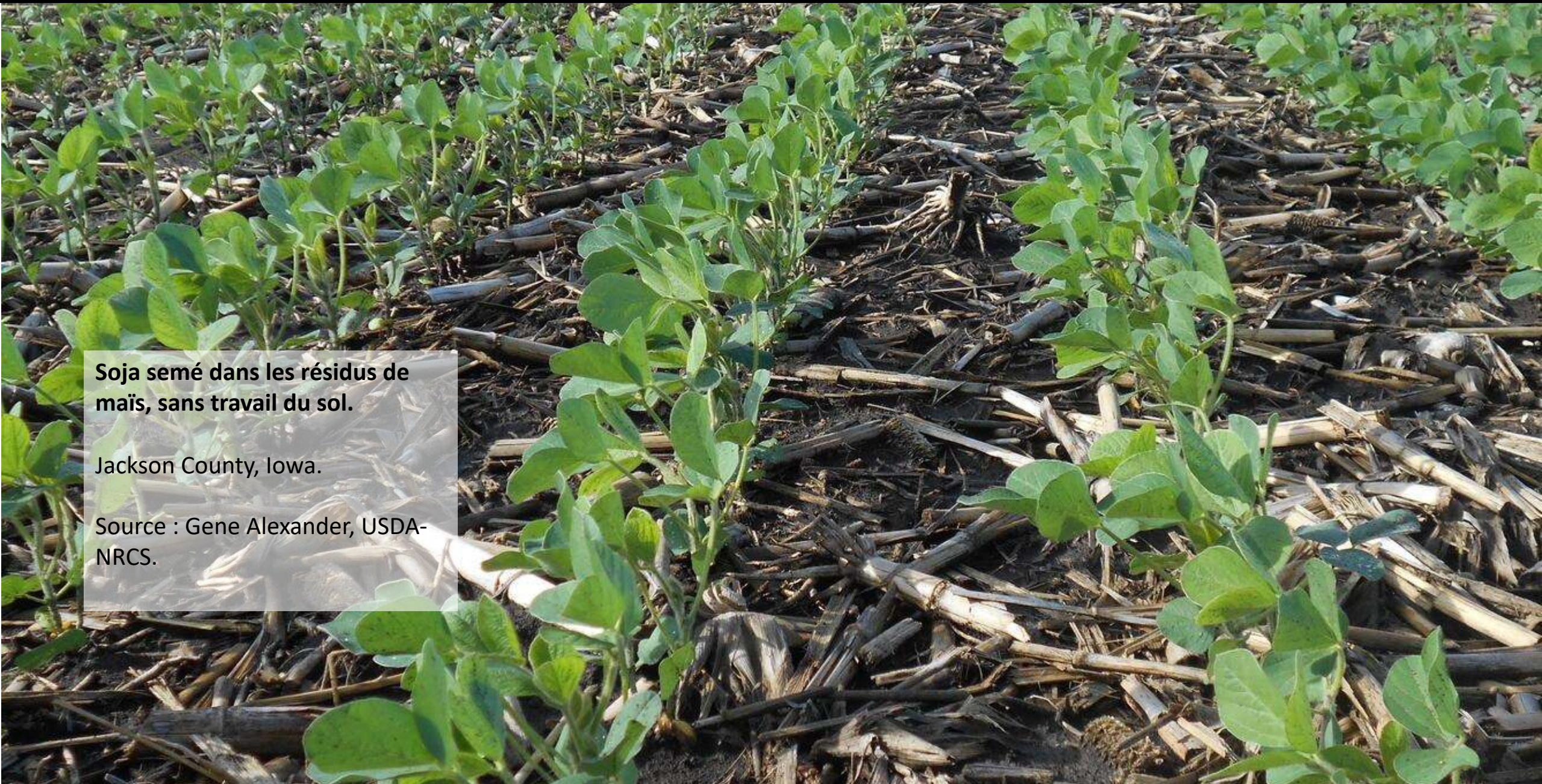
Belin: ÉDUCATION, 2018

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

Suppression du travail profond du sol



Soja semé dans les résidus de maïs, sans travail du sol.

Jackson County, Iowa.

Source : Gene Alexander, USDA-NRCS.