

SAMUEL REBULARD

Préface de  
Bernard Chevassus-au-Louis

# Le défi alimentaire



ÉCOLOGIE, AGRONOMIE ET AVENIR



## PRÉFACE

Défi quotidien depuis l'aube de l'humanité, l'alimentation constitue à l'évidence ce que les anthropologues appellent un « fait social total », tant il mobilise et fait interagir des dimensions biologiques, culturelles, symboliques, institutionnelles, historiques des sociétés. C'est aussi – contrairement à une vision parfois figée de l'agriculture et de ses acteurs – un « système dynamique », car ces multiples dimensions forgent et recomposent sans cesse la diversité des systèmes alimentaires de notre planète.

Interpellant chacun d'entre nous, le fait alimentaire est aujourd'hui traversé par de multiples débats et controverses, dans le contexte d'un avenir caractérisé à la fois par la poursuite d'une croissance démographique inédite – le nombre de bouches à nourrir aura été multiplié par 10 en moins de trois siècles – et par la perception de plus en plus aiguë des limites planétaires, que les dérèglements climatiques ne feront qu'accentuer. Faut-il produire plus pour nourrir le monde ou suffit-il de mieux répartir ? L'agriculture biologique peut-elle répondre à ces défis ? Faut-il mobiliser des terres agricoles pour produire des énergies renouvelables ? Faut-il croire à de nouvelles révolutions technologiques ou militer pour de profondes réformes socio-économiques ? Nos aliments sont-ils vraiment plus sûrs aujourd'hui que par le passé ? Autant de questions qui font l'objet d'opinions et d'affirmations contradictoires.

C'est tout le mérite de cet ouvrage – j'ai même envie de dire de cette « somme » tant le contenu en est riche – que nous propose Samuel Rebulard : apporter des éléments d'information et de réflexion, clairs et remarquablement illustrés, pour éclairer ces multiples questions. En 58 modules, qui peuvent se lire indépendamment, il jongle avec aisance avec toute la gamme des disciplines scientifiques, de l'agronomie à l'écologie, de la génétique à l'écophysiologie et à la nutrition, de la sociologie à l'histoire et à l'économie, en montrant à chaque fois la nécessité de combiner, pour comprendre aussi bien le passé que le présent et l'avenir, les dimensions – que certains opposent parfois – « biotechniques » et « socio-économiques ».

L'auteur ne propose pas de conclusions, et ce n'est pas son moindre mérite, dans un monde où les attitudes normatives et péremptoires sur notre alimentation se multiplient. Mais je m'avancerai à sa place sur au moins une certitude : celle que les lecteurs de ce livre retourneront le consulter avant de se prononcer sur ce que « doit » être notre alimentation.

Bernard Chevassus-au-Louis

Ancien Inspecteur général de l'agriculture, ancien président du  
Muséum national d'Histoire naturelle, président de l' Association Humanité et biodiversité

## SOMMAIRE

Sommaire thématique .....	8
---------------------------	---



<b>Chapitre 1</b> Soixante-dix ans d'une révolution agricole .....	14
Module 1 L'évolution de la production alimentaire au cours du xx <sup>e</sup> siècle .....	14
Module 2 Des technologies du xx <sup>e</sup> siècle au service de l'agriculture .....	17
Module 3 Moins de travail et moins de dépenses pour plus de nourriture .....	21
<b>Chapitre 2</b> Une alimentation variée mais inégale dans le monde .....	25
Module 4 La sécurité alimentaire .....	25
Module 5 Une multitude de régimes alimentaires .....	30
Module 6 La malnutrition est omniprésente .....	39
Module 7 Causes et facteurs de risque de l'insécurité alimentaire .....	46
<b>Chapitre 3</b> Les systèmes alimentaires : organisation et enjeux .....	55
Module 8 Les évolutions récentes des systèmes alimentaires .....	55
Module 9 La mondialisation des échanges .....	64
Module 10 Trois éléments clés des systèmes alimentaires .....	71
Module 11 Pertes et gaspillage .....	83
<b>Chapitre 4</b> Horizon 2050 : des prévisions et des incertitudes .....	89
Module 12 Démographie : plus d'humains, plus d'urbains, plus de personnes âgées .....	89
Module 13 La transition alimentaire : plus de viande, plus de lipides, plus de fruits .....	92
Module 14 Les agrocarburants : un usage non alimentaire de la production agricole .....	95
Module 15 Le changement climatique aura un impact sur la sécurité alimentaire mondiale .....	102
Module 16 Les surfaces cultivées ne pourront pas augmenter partout dans le monde .....	109



**Partie II**  
**Produire des aliments** 120

**Chapitre 5 Aux origines : les domestications des plantes et des animaux** ..... 122

**Module 17** Les multiples naissances de l'agriculture ..... 122

**Module 18** Les parentés entre plantes sauvages et plantes domestiquées ..... 127

**Module 19** Rechercher des foyers de domestication ..... 133

**Module 20** Les aspects génétiques des domestications ..... 139

**Module 21** L'origine des variétés de pays ..... 144

**Module 22** Les domestications des animaux ..... 148

**Chapitre 6 La plante cultivée dans l'agrosystème** ..... 151

**Module 23** La plante alimentaire ..... 151

**Module 24** Les besoins nutritionnels des plantes cultivées ..... 165

**Module 25** À quoi tient la fertilité naturelle d'un sol ? ..... 176

**Module 26** Un agrosystème est un écosystème particulier ..... 188

**Chapitre 7 Produire des aliments végétaux** ..... 195

**Module 27** L'organisation de la production végétale ..... 195

**Module 28** La fertilisation : apporter des sels minéraux ..... 204

**Module 29** L'irrigation : satisfaire les besoins de la plante en eau ..... 216

**Module 30** S'aider de machines et d'animaux ..... 224

**Module 31** La protection contre les bioagresseurs ..... 229

**Module 32** L'amélioration des plantes cultivées ..... 243

**Module 33** Les plantes génétiquement modifiées ..... 258

**Module 34** Produire sous serre ..... 270

**Chapitre 8 Produire des aliments d'origine animale** ..... 274

**Module 35** L'importance de l'élevage pour l'alimentation humaine ..... 274

**Module 36** La conduite des élevages ..... 280

**Module 37** L'aquaculture ..... 289



**Partie III**  
**Des systèmes agricoles en question** 294

**Chapitre 9 Les menaces sur les ressources agricoles non vivantes** ..... 296

**Module 38** L'eau douce, une ressource limitée localement ..... 296

**Module 39** La dégradation des sols agricoles ..... 306

**Module 40** Le phosphore, un épuisement possible ? ..... 317



**Partie IV**  
**De nouvelles tendances de production et de consommation** 386

**Chapitre 10 La dégradation des ressources biotiques** ..... 321

**Module 41** L'épuisement des stocks de pêche ..... 321

**Module 42** L'érosion et la conservation de l'agro-biodiversité ..... 337

**Module 43** La biodiversité naturelle et la production alimentaire ..... 346

**Chapitre 11 Risques sanitaires et environnementaux** ..... 363

**Module 44** Risques sanitaires associés à la production alimentaire ..... 363

**Module 45** Pollutions d'origine agricole ..... 373

**Module 46** Impact carbone des systèmes alimentaires ..... 379

**Chapitre 12 De nouvelles dynamiques pour l'agriculture moderne** ..... 388

**Module 47** Les multiples évolutions récentes de l'agriculture ..... 388

**Module 48** L'agriculture biologique ..... 403

**Chapitre 13 Des pratiques agricoles écologiques et productives** ..... 417

**Module 49** L'agroécologie, au cœur des évolutions de l'agriculture ..... 417

**Module 50** La complexité des agroécosystèmes ..... 427

**Module 51** La conservation des sols et les couvertures végétales permanentes ..... 449

**Module 52** L'agroforesterie : des arbres en agriculture ..... 458

**Chapitre 14 Des systèmes alimentaires simplifiés** ..... 473

**Module 53** L'agriculture urbaine ..... 473

**Module 54** La petite agriculture familiale ..... 479

**Module 55** La territorialisation des productions alimentaires ..... 487

**Module 56** De « nouveaux » aliments ..... 495

**Chapitre 15 L'information et l'éducation alimentaires** ..... 502

**Module 57** Les enjeux de l'éducation alimentaire ..... 502

**Module 58** Choisir ses aliments ..... 509

**Index** ..... 522

UNE PROBLÉMATIQUE	UNE PROPOSITION DE PARCOURS DANS L'OUVRAGE	MODULES	PAGES
<b>Y a-t-il suffisamment de sols pour nourrir les humains ?</b>	Les surfaces mondiales disponibles sont suffisantes, mais inégalement réparties ; L'urbanisation menace des terres agricoles d'excellente qualité.	<b>16</b>	109
	La dégradation des meilleures terres agricoles est une source d'inquiétude.	<b>39</b>	306
	Les pratiques de conservation des sols par des couvertures permanentes permettent de protéger les sols et d'améliorer leur fertilité.	<b>51</b>	449
<b>Suffit-il de produire plus pour nourrir toute l'humanité ?</b>	La production alimentaire actuelle est théoriquement suffisante pour nourrir toute l'humanité.	<b>3</b> <b>11</b>	21 83
	L'insécurité alimentaire reste importante dans de nombreuses régions.	<b>3</b> <b>4</b> <b>6</b> <b>7</b>	21 25 39 46
	La répartition inégale de la production, la pauvreté, les pertes post-récoltes, les catastrophes naturelles et les conflits expliquent le maintien de l'insécurité alimentaire local dans un contexte d'abondance mondiale.	<b>6</b> <b>7</b> <b>11</b>	39 46 83
	Réduire la pauvreté permet de lutter contre l'insécurité alimentaire lorsque la nourriture est disponible localement.	<b>6</b> <b>7</b>	39 46
<b>Quelles sont les pistes pour réduire l'insécurité alimentaire mondiale ?</b>	Accompagner la petite agriculture familiale vers des pratiques agricoles (agroécologiques en particulier) à faibles investissements permet de réduire la pauvreté en augmentant localement la disponibilité alimentaire.	<b>7</b> <b>50</b> <b>54</b>	46 427 479
	La mise au point de variétés résistantes aux maladies et les techniques de stockage et de conservation des aliments ont permis de réduire les risques d'origine microbiologiques (toxi-infections, mycotoxines).	<b>10</b> <b>32</b>	71 243
<b>Nos aliments sont-ils plus sûrs aujourd'hui que par le passé ?</b>	Les aliments modernes exigent une longue conservation, ce qui implique l'usage de pesticides post-récolte et d'additifs (conservateurs), dont les effets sur la santé ne sont pas bien connus.	<b>10</b> <b>58</b>	71 509
	Les résidus de pesticides sont présents dans l'alimentation à des doses très faibles. Mais leurs effets cumulés et à long terme ne sont pas connus.	<b>44</b>	363
<b>Quel avenir pour la consommation de poisson ?</b>	La consommation de poisson a de nombreux atouts nutritionnels.	<b>6</b>	39
	L'aquaculture soutient l'augmentation rapide de la consommation mondiale de poisson.	<b>37</b>	289
	L'épuisement des stocks de nombreux poissons est très préoccupant.	<b>41</b>	321
	L'imprégnation des poissons en certains polluants impose une consommation limitée.	<b>44</b>	363
<b>Quel est l'impact de la consommation de viande, à l'échelle de planète ?</b>	Un tiers de la production végétale mondiale est utilisée pour nourrir les animaux d'élevage.	<b>11</b> <b>35</b>	83 274
	La production de viande a un très fort impact environnemental, via la déforestation tropicale, le surpâturage et la production de gaz à effet de serre.	<b>35</b> <b>46</b>	274 379

UNE PROBLÉMATIQUE	UNE PROPOSITION DE PARCOURS DANS L'OUVRAGE	MODULES	PAGES
<b>Quel avenir pour la consommation de viande ?</b>	Les régimes alimentaires humains contiennent des proportions variables de viande.	<b>5</b>	30
	La consommation de viande a des atouts nutritionnels mais présente aussi des risques pour la santé.	<b>6</b>	39
	Le développement économique s'accompagne d'une augmentation de la consommation de viande ; L'augmentation de la consommation est rapide à l'échelle mondiale.	<b>13</b>	92
	Les conséquences pour la santé humaine, sur le bien-être animal et sur le changement climatique expliquent la baisse de consommation de viande observée dans certains pays dont la France.	<b>13</b> <b>36</b> <b>44</b> <b>46</b>	92 280 363 379
<b>Tous les types d'élevage sont-ils équivalents ?</b>	Les types d'élevages sont diversifiés avec des conséquences variables pour l'environnement et le bien-être animal.	<b>35</b>	274
	Les élevages extensifs et faiblement intensifs sont utiles écologiquement pour produire de la nourriture quand les cultures sont difficiles, pour entretenir les milieux semi-naturels et pour leurs apports de fertilisants.	<b>28</b> <b>43</b> <b>50</b>	204 346 427
	Les élevages bénéficiant d'un signe de qualité (AB, Label Rouge, AOP) ou réalisés dans de bonnes conditions agroécologiques peuvent présenter d'importants avantages en terme de bien-être animal, d'entretien de la biodiversité naturelle et des traditions culturelles.	<b>35</b> <b>48</b> <b>52</b> <b>58</b>	274 403 458 509
<b>En quoi l'agriculture est-elle responsable, victime et source de solution pour le changement climatique ?</b>	Le changement climatique risque d'affecter la sécurité alimentaire sur de nombreux plans.	<b>15</b>	102
	L'agriculture contribue au changement climatique.	<b>46</b>	379
	En stockant d'importantes quantités de carbone, certaines pratiques agricoles ont un bilan carbone positif.	<b>46</b> <b>51</b> <b>52</b>	379 449 458
<b>Pourquoi les agriculteurs sont-ils des garants du maintien de la biodiversité ?</b>	La modernisation (simplification et spécialisation) de l'agriculture au xx <sup>e</sup> siècle s'est accompagnée d'une importante perte de diversité aux champs et dans les milieux agricoles.	<b>27</b> <b>32</b> <b>42</b> <b>43</b>	195 243 337 346
	Les espaces agricoles abritent une biodiversité potentielle plus importante que les espaces naturels protégés ; La biodiversité rend des services écologiques importants aux agriculteurs.	<b>43</b>	346
<b>Écologie et agriculture sont-elles réconciliables ?</b>	Les pratiques agroécologiques sont vertueuses, tant sur le plan agronomique qu'environnemental. Elles permettent d'augmenter la biodiversité cultivée et sauvage des milieux agricoles, tout en rendant des services aux agriculteurs.	<b>49</b> <b>50</b>	417 427
	Agriculture et biodiversité sont intimement liées.	<b>42</b> <b>43</b>	337 346
<b>Écologie et agriculture sont-elles réconciliables ?</b>	L'écologie et l'agronomie traitent de sujets similaires, avec des objectifs différents.	<b>49</b>	417
	Dans le cadre de l'agroécologie, l'écologie est un support conceptuel et une source d'innovations concrètes pour l'agriculture.	<b>49</b> <b>50</b> <b>51</b> <b>52</b>	417 427 449 458

UNE PROBLÉMATIQUE	UNE PROPOSITION DE PARCOURS DANS L'OUVRAGE	MODULES	PAGES
<b>Comment expliquer l'absence de diminution des usages de pesticides en France ?</b>	La lutte chimique a accompagné la modernisation de l'agriculture xx <sup>e</sup> siècle.	<b>2</b> <b>31</b>	17 229
	Les pratiques agricoles sont aujourd'hui très dépendantes de l'utilisation de pesticides.	<b>28</b> <b>31</b> <b>32</b> <b>33</b>	204 229 243 258
	Il existe de nombreuses pratiques alternatives aux pesticides, mais leur mise en application est souvent complexe.	<b>31</b> <b>48</b>	229 403
	Il existe de nombreux freins et verrouillages psychologiques, culturels, sociologiques, technologiques et économiques à la réduction des usages de pesticides.	<b>47</b> <b>48</b> <b>49</b> <b>50</b>	388 403 417 427
<b>Quels avantages peut-on attendre d'une augmentation de la biodiversité naturelle en agriculture ?</b>	La simplification des espaces agricoles a réduit les services écologiques, notamment fournis par les auxiliaires, les décomposeurs et les pollinisateurs.	<b>42</b>	337
	Dans les champs, la diversité spécifique et génétique a diminué à cause de l'utilisation de variétés à base génétique étroite. Les bioagresseurs sont plus efficaces, la lutte chimique est la solution privilégiée.	<b>43</b>	346
	La biodiversité sauvage des espaces agricoles rend des services écologiques : régulation des bioagresseurs, épuration de l'eau, service de pollinisation, etc.	<b>43</b> <b>50</b>	346 427
<b>Pourquoi les couvertures permanentes des sols sont-elles à promouvoir ?</b>	La fertilité des sols dépend grandement de leur teneur en matière organique et de leur activité biologique.	<b>25</b> <b>28</b>	176 204
	La perte de matière organique est une cause fréquente de dégradation des sols.	<b>39</b>	306
	La couverture permanente des sols par des plantes vivantes ou de la matière organique morte, contribue à amender et fertiliser les sols, à réduire l'érosion des sols, à éviter les dégradations de surface des sols (battance, dessèchement), à favoriser l'activité biologique des sols, à abriter une faune d'auxiliaires utiles, etc.	<b>50</b> <b>51</b>	427 449
<b>Qu'apportent les arbres à l'agriculture ?</b>	Les arbres contribuent à l'hétérogénéité paysagère, ce qui favorise la biodiversité naturelle et permet de réguler les bioagresseurs.	<b>43</b> <b>49</b> <b>50</b>	346 417 427
	Les arbres réduisent l'érosion des sols et les fuites d'intrants. Ils peuvent chercher l'eau et les éléments nutritifs en profondeur. Ils fournissent des produits (bois, fruits) et favorisent le bien-être des animaux d'élevage.	<b>52</b>	458
<b>Tous les engrais se valent-ils ?</b>	Les plantes ont besoin de nutriments.	<b>24</b>	165
	Les sols ont une fertilité naturelle.	<b>25</b>	176
	La fertilité des sols doit être maintenue par des engrais minéraux ou organiques dont les conséquences pour la structure du sol, la nutrition de la plante ou les pollutions de l'eau sont très variables.	<b>28</b>	204
	L'agriculture de conservation a comme objectif d'améliorer la fertilité des sols par d'importants apports de matière végétale.	<b>51</b>	449

UNE PROBLÉMATIQUE	UNE PROPOSITION DE PARCOURS DANS L'OUVRAGE	MODULES	PAGES
<b>Quels sont les avantages de manger des aliments « bio » ?</b>	L'exposition des agriculteurs et des consommateurs aux pesticides et résidus de pesticides est moindre.	<b>44</b> <b>48</b>	363 403
	Il existerait un léger bénéfice nutritionnel, en comparaison avec les aliments conventionnels.	<b>48</b>	403
	L'agriculture biologique limite les impacts des pesticides sur l'environnement et favorise les élevages à l'herbe. Son bilan environnemental peut être amélioré par les pratiques agroécologiques, notamment la couverture des sols.	<b>31</b> <b>43</b> <b>48</b> <b>50</b>	229 346 403 427
	L'agriculture biologique stimule l'innovation dans les systèmes agricoles à bas intrants.	<b>47</b> <b>48</b> <b>50</b>	388 403 427
<b>Quelles sont les difficultés de l'agriculture biologique ?</b>	Les pratiques de l'agriculture biologique sont complexes à mettre en œuvre.	<b>31</b> <b>32</b> <b>48</b>	229 243 403
	Les innovations agronomiques pour l'agriculture biologique sont encore insuffisantes.	<b>32</b> <b>48</b>	243 403
	Le bilan environnemental de l'agriculture biologique pourrait être amélioré, notamment par la réduction du travail du sol, le renforcement des services écologiques et la diminution de l'usage du cuivre comme biopesticide.	<b>32</b> <b>47</b> <b>48</b> <b>51</b>	243 388 403 449
<b>Quelles sont les conséquences de la protection des plantes en « bio » ?</b>	La protection des plantes en agriculture biologique est difficile.	<b>31</b>	229
	Les services écologiques permettent la régulation des bioagresseurs.	<b>43</b>	346
	Les rendements de l'agriculture biologique sont questionnés dans l'hypothèse d'une généralisation.	<b>48</b>	403
<b>Pourquoi manger local et de saison ?</b>	Des pratiques agroécologiques offrent de nouvelles perspectives, notamment pour réduire l'impact environnemental de l'agriculture biologique.	<b>49</b> <b>50</b> <b>51</b> <b>52</b>	417 427 449 458
	Les systèmes alimentaires contemporains nécessitent des trajets longs, des moyens de conservation importants, une faible diversité d'aliments supportant ces conditions.	<b>8</b> <b>9</b> <b>10</b>	55 64 71
	Les circuits courts et de proximité avec des produits de saison réduisent l'impact carbone, réduisent les temps de conservation nécessaires (moins de conservateurs, plus de nutriments), promeuvent une nouvelle diversité alimentaire, favorisent l'emploi local, renforcent le lien producteur-consommateur, etc.	<b>46</b> <b>53</b> <b>55</b> <b>57</b> <b>58</b>	379 473 487 502 509
	Les flux agricoles internationaux jouent un rôle majeur.	<b>9</b>	64
<b>Les circuits courts sont-ils toujours vertueux écologiquement ?</b>	La longue conservation demande l'utilisation de pesticides, d'additifs ou d'infrastructures coûteuses énergétiquement.	<b>10</b>	71
	En moyenne, le mode de production a un impact carbone plus fort que le transport ; Le transport en voiture par le consommateur final pèse lourd dans le bilan carbone.	<b>46</b>	379
	Il existe une diversité des circuits courts et de proximité avec des impacts carbone variables.	<b>55</b>	487

## Module 21

### L'origine des variétés de pays

#### En bref

- Les variétés de pays sont le fruit d'une diversification des formes domestiquées d'une espèce. Cette diversification est la conséquence des multiples modalités de sélection artificielle exercées localement, par une multitude de paysans, sur ces formes cultivées.

Après la domestication d'une espèce à partir de populations sauvages, les actions de sélection artificielle par les paysans se poursuivent. Chaque communauté agricole croise ses plants avec ceux des communautés voisines et sélectionne des caractères agronomiques, nutritionnels ou organoleptiques spécifiques. Les sous-espèces locales obtenues sont appelées «variétés de pays» ou «variétés locales». Cette diversification variétale est à l'origine de l'émergence d'une véritable biodiversité cultivée.

#### Des variétés différentes peuvent correspondre à des usages différents



**Diversité des betteraves.**  
De gauche à droite : la betterave sucrière, la betterave rouge et les bettes.

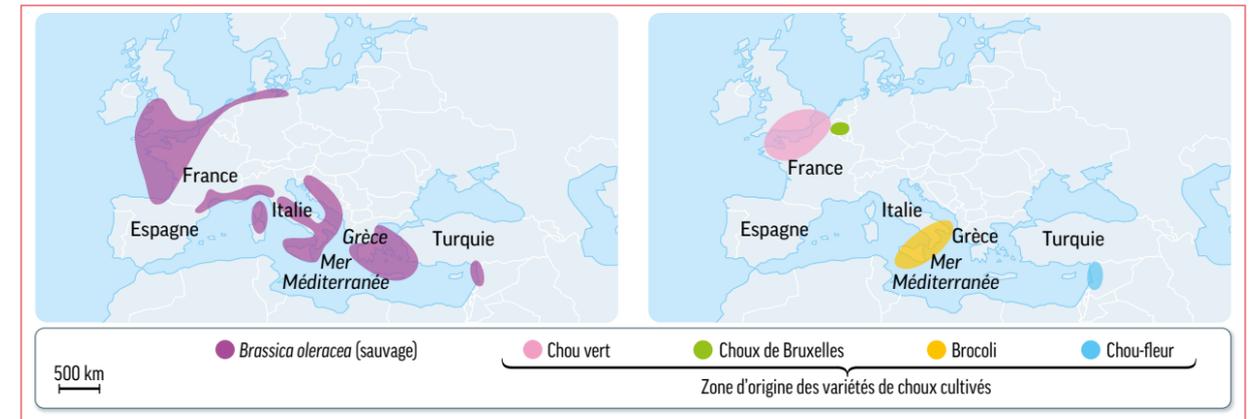
Les betteraves ont été domestiquées probablement dès l'Antiquité à partir de populations sauvages largement répandues dans l'ouest de l'Eurasie. Une part des variétés résulte d'une sélection augmentant la taille du pétiole : ce sont les bettes, dont les feuilles sont consommées cuites. L'augmentation du volume de la racine<sup>1</sup> par sélection aurait été obtenue sous l'Antiquité grecque. Lors des invasions barbares, des betteraves à racine hypertrophiée auraient été ramenées en Germanie et y auraient subi une diversification variétale. On sait, d'après Pierandrea Mattioli, un botaniste italien du XVI<sup>e</sup> siècle, que la betterave est fréquente en Allemagne à cette époque, mais encore rare en France. De nombreuses couleurs et formes du tubercule sont alors décrites. Les formes jaunes, blanches et annelées rouge et blanc ont disparu au cours du XX<sup>e</sup> siècle, pour ne

laisser que la betterave rouge foncée globuleuse que l'on connaît aujourd'hui (variété de référence appelée «Détroit améliorée»). Autrefois potagère (comme dans le *bortsch* d'Europe de l'Est), la betterave rouge actuelle est surtout consommée en France en salade froide. Les betteraves fourragères, avec un tubercule blanc, conique et de grande taille, utilisées pour l'alimentation animale sont connues depuis le Moyen Âge. À partir des formes fourragères, la betterave sucrière à usage industriel, pour l'extraction de saccharose, s'est développée à l'époque napoléonienne lorsque le blocus maritime anglais empêchait l'approvisionnement de la métropole en canne à sucre tropicale. Ainsi, les différentes variétés de bettes/betteraves présentent non seulement des différences morphologiques importantes, mais également des usages très différents [34].

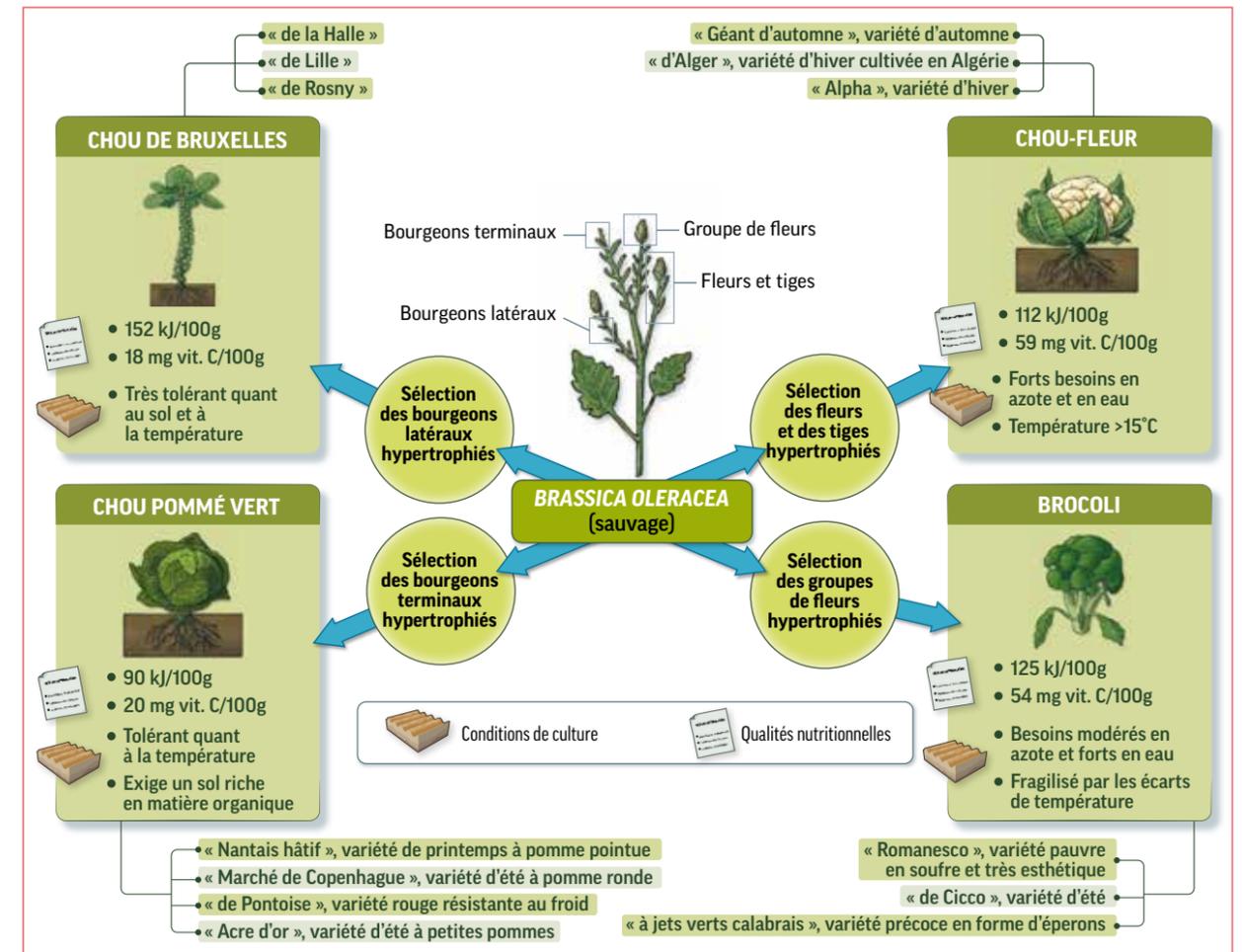
#### Des variétés différentes sélectionnées dans des régions différentes

Le plus proche parent sauvage des choux, *Brassica oleracea* (photo p. 172), est présent en Europe et dans le bassin méditerranéen. À partir des différentes populations sauvages, de nombreux événements de domestication ont été à l'origine de la diversité des choux cultivés de nos jours. Les paysans des différentes régions ont retenu et favorisé par sélection artificielle l'hypertrophie d'organes différents : les bourgeons axillaires dans le

1. Plus précisément, le tubercule de la betterave est une hypertrophie de l'hypocotyle (base de la tige) et de la racine.



**Doc. 1.** Répartition géographique des formes spontanées du chou sauvage (*Brassica oleracea*) et foyers de quelques choux cultivés.



**Doc. 2.** La diversification variétale des choux à partir d'une même espèce sauvage. Pour chaque type de chou, on donne quelques exemples de variétés cultivées.

nord de l'Europe (chou de Bruxelles), le bourgeon terminal le long de la Manche (chou pommé), les inflorescences en Méditerranée orientale (chou-fleur), etc. (doc. 1). En plus de ces modifications morphologiques, d'autres caractéristiques ont été co-sélectionnées (préférences culturelles, teneur en vitamine C, etc.). Pour chacun de ces types de chou, il existe une diversité de variétés anciennes et modernes qui peut être associée à des régions géographiques, des conditions de culture ou des caractéristiques organoleptiques différentes (doc. 2).



2 Parc National de Saguaro (États-Unis)



1 Parc national des Badlands (États-Unis)

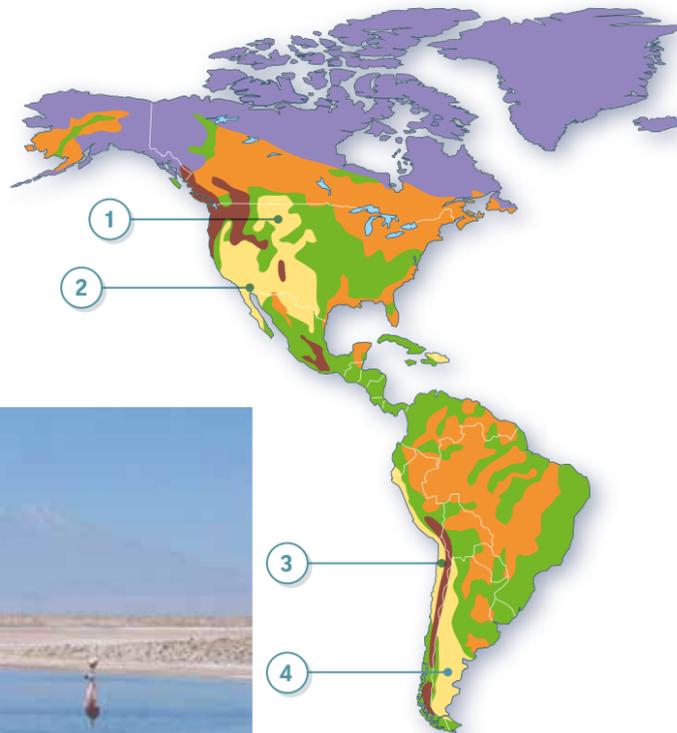
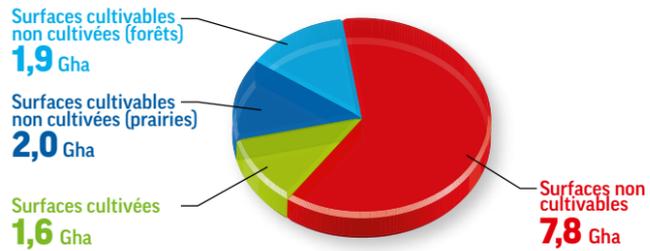


5 Parc National de la Vanoise (France)



6 Parc National d'Abisko (Suède)

**Répartition des terres émergées**  
(incluant les surfaces protégées)



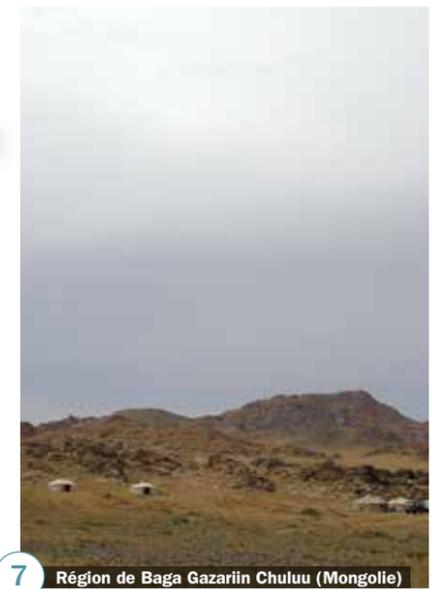
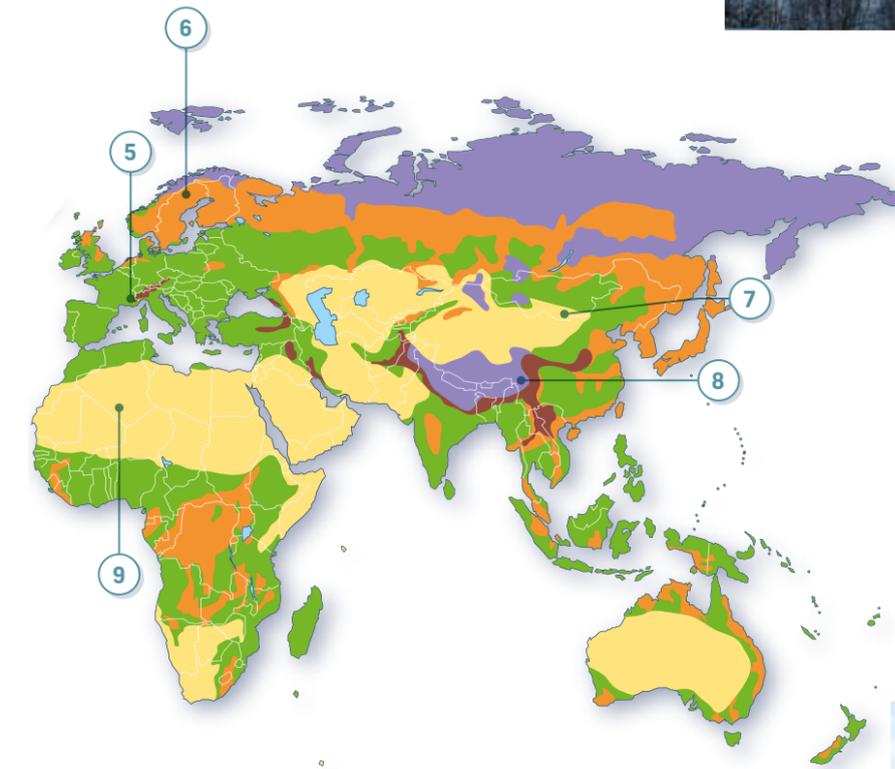
3 Salar de Atacama (Chili)



4 Glacier Perito Moreno (Argentine)

**Types de contraintes environnementales pesant sur les sols**

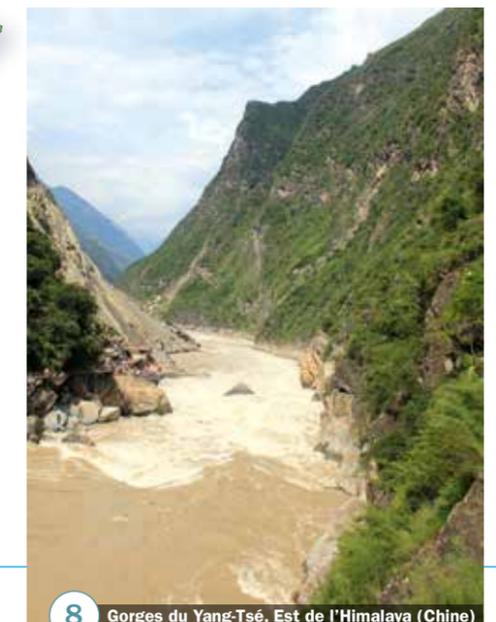
- Trop froid
- Trop sec
- Trop pentu
- Trop pauvre
- Faibles contraintes (sol favorable à l'agriculture)



7 Région de Baga Gazariin Chuluu (Mongolie)



9 Région de Timimoun, Sahara (Algérie)



8 Gorges du Yang-Tsé, Est de l'Himalaya (Chine)

**Doc. 2. Contraintes s'exerçant sur les sols limitant une agriculture à faible quantité d'intrants (pas d'irrigation, pas d'amendements).**  
Le diagramme circulaire représente l'usage des terres émergées (13,3 GHa), une partie des sols non cultivables sont utilisés comme pâturage [56].



**Faidherbia albida en association avec du maïs en Afrique de l'Est.** Le *Faidherbia* est un arbre légumineux qui fait ses feuilles en contre saison (pendant la saison sèche). Lorsque le maïs se développe à la saison humide, le *Faidherbia* a perdu ses feuilles riches en azote sur le sol.

### Les arbres agricoles réduisent l'impact climatique de l'agriculture

Les arbres peuvent stocker du carbone sous forme de biomasse (aérienne ou souterraine) et sous forme de matière organique dans le sol. Dans les parcelles expérimentales de la région de Montpellier déjà citées (voir **doc. 4**), 50 % du stockage en carbone de la parcelle est réalisé par les arbres alors que ceux-ci n'occupent que 16 % de la surface cultivée [85].

En termes de flux, le stockage du carbone par l'agroforesterie est l'un des plus élevés constatés en production agricole. D'après un rapport de l'Ademe, ce flux varie entre 100 et 1 350 kg de carbone par hectare et par an (kgC/ha/an). Il dépend bien évidemment de la quantité d'arbres à l'hectare et des pratiques agroforestières associées [82]. En zone tropicale, des stockages dépassant 3 000 kgC/ha/an ont été mesurés sur des systèmes agroforestiers [90]. Pour comparaison, le stockage par un couvert végétal permanent (prairie) en France ne dépasse pas les 350 kgC/ha/an [82]. Si l'ensemble des espaces agricoles propices en Europe devenaient des cultures agroforestières, ils permettraient de stocker un tiers du carbone de toutes les émissions de gaz à effet de serre européennes, incluant les transports et l'industrie [97].

*La généralisation des pratiques agroforestières en Europe permettrait de stocker un tiers du carbone émis, toutes activités confondues.*

### Dans les régions tropicales, l'association entre arbres légumineux et céréales améliore les rendements

Les avantages généraux apportés par les arbres dans les régions tempérées restent valables dans les régions tropicales, où ils participent à des systèmes agroforestiers diversifiés.

Dans les zones arides, la croissance démographique a exercé une forte pression sur les arbres. En effet, ceux-ci sont utilisés pour fournir le bois de feu nécessaire à la cuisine. En Côte d'Ivoire, par exemple, seuls les arbres des espaces sacrés ou produisant des fruits à proximité des maisons ont été préservés [89]. On assiste pourtant aujourd'hui à



**Culture de curcuma sous des palmiers de bétel en Inde.** Même s'ils ne proviennent pas eux-mêmes d'arbres (comme la cannelle, la girofle, l'anis étoilé ou la muscade) beaucoup d'épices tropicales sont le plus souvent produites dans des systèmes agroforestiers : poivre, gingembre, cardamome, vanille, curcuma, etc.

un renouveau des espaces agricoles arborés dans ces régions arides. Pour l'élevage, ces arbres contribuent à assurer une alimentation régulière des animaux<sup>1</sup>. En production céréalière, les arbres légumineux (qui apportent de l'azote au sol) permettent d'obtenir de substantielles augmentations de production et d'économiser sur les engrais. Parmi ces arbres, une espèce d'acacia, *Faidherbia albida*, présente des caractéristiques tout à fait remarquables. Ayant une phénologie inversée (par rapport aux arbres de la région), cet arbre produit des feuilles à la saison sèche et les perd au début de la saison humide. C'est à ce moment que les céréales germent en profitant de la décomposition de ces feuilles, riches en azote. L'absence de feuilles dans les arbres empêche également la compétition pour la lumière avec les céréales en pleine croissance. Les parcs à *Faidherbia* sont aujourd'hui très répandus. Au Malawi, des expérimentations du *World Agroforestry Center* ont montré que l'association de différentes légumineuses avec des cultures de maïs permettait d'obtenir des rendements meilleurs qu'avec l'emploi d'engrais minéraux (**doc. 10**).

Ce type d'agroforesterie, qui consiste à introduire une ou plusieurs espèces d'arbres légumineux avec les cultures de céréales, est un premier niveau de complexification des agrosystèmes, relativement simple à mettre en œuvre (comparé aux agroforêts) et très efficace en termes de productivité.

**Doc. 10. Influence de la présence d'arbres légumineux sur la production de maïs au Malawi.** Mesures réalisées en 2009 et 2010 sur six districts [97].

Parcelles	Nombre de parcelles étudiées	Moyenne (kg/ha)	Écart-type
Maïs sans engrais	36	1 322	220
Maïs avec engrais	213	1 736	118
Maïs avec arbres légumineux	72	3 053	359
Maïs avec arbres légumineux et engrais	135	3 071	264

1. En France, le feuillage des haies peut être utilisé comme fourrage, notamment lors des sécheresses estivales où l'herbe fait défaut mais les arbres sont verts.

# Le défi alimentaire

ÉCOLOGIE, AGRONOMIE ET AVENIR

Samuel Rebulard

Préface de Bernard Chevassus-au-Louis

En ce début de <sup>xxi</sup><sup>e</sup> siècle, on demande à l'agriculture de nourrir près de 10 milliards d'humains à l'horizon 2050... mais bien plus que cela encore. On attend que les agriculteurs vivent mieux de leur travail, que les aliments satisfassent à de nouvelles exigences (qualité nutritionnelle, production locale, etc.), que des pratiques agricoles «écologiques» préservent la santé des écosystèmes et des agriculteurs, etc.

Bref, produire des aliments pose aujourd'hui une foule de nouvelles questions : faut-il augmenter la production pour nourrir plus de monde ? Ou suffit-il de mieux répartir ce que l'on produit ? Au-delà du «bio», quelles sont les pratiques agricoles «écologiques» actuelles ? Doit-on utiliser des terres agricoles pour produire des énergies renouvelables ? Ces questions et bien d'autres encore sont au cœur de l'ouvrage. Elles sont abordées sous les regards croisés de l'écologie, l'agronomie, l'agriculture, la nutrition ou la botanique et, grâce à une organisation en modules indépendants, il est aisé de trouver, dans ces différents champs disciplinaires, les éléments de réponse pour chaque question que l'on se pose.

Facile à lire, illustré par 400 schémas et 100 photos, ce livre s'adresse aux passionnés des questions liées au défi alimentaire, aux étudiants ainsi qu'aux professeurs de SVT et de géographie au collège et au lycée (en formation initiale ou continue).

**Samuel Rebulard** est ingénieur agronome et agrégé de SVT. Il est co-responsable de la préparation à l'agrégation SVT sur le campus d'Orsay (Université Paris-Sud, École normale supérieure, École normale supérieure Paris-Saclay, Muséum national d'Histoire naturelle). Membre du conseil de la Société botanique de France, il a organisé plusieurs colloques autour des questions agricoles et alimentaires.

- ✓ Une approche multidisciplinaire
- ✓ Une organisation en 58 modules indépendants
- ✓ Près de 500 illustrations