

# Les mutations liées à la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale et la problématique du développement : défis et espoirs

## Big Changes in Global Food Security and the Issue of Development: Challenges and Hopes

Jean-Luc Hornick<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Département de Gestion Vétérinaire des Ressources Animales, Faculté de Médecine Vétérinaire, FARAH Center, Liège, Belgique, jlhornick@uliege.be

**RÉSUMÉ.** La sécurité et la salubrité alimentaire font face à d'importants changements sociaux amorcés au lendemain de la seconde guerre mondiale, et dont actuellement les effets combinés se renforcent mutuellement. Ces changements menacent un équilibre devenu précaire entre d'une part les ressources de la planète et nos capacités à les mobiliser, et d'autre part les besoins de l'humanité. Dans l'état actuel des savoirs, une conscientisation mondiale des enjeux et la mise en œuvre de technologies connues sont théoriquement en mesure de retarder l'avènement d'un découplage brutal entre l'offre et la demande alimentaire mais une capitalisation de nouvelles découvertes semble décisive afin de garantir la sécurité nutritionnelle de générations futures.

**ABSTRACT.** Food security and safety is facing huge societal changes that were triggered immediately after World War II, and whose effects are mutually reinforcing today. These changes threaten a fragile equilibrium between, on the one hand, the world resources and our ability to mobilise them, and on the other hand, human requirements. Given our current knowledge, the population's awareness of the stakes and the implementation of current promising technologies are likely to delay a rupture between food supply and demand. However, a significant capitalisation of new discoveries appears to be capital in order to guarantee the next generations' food security.

**MOTS-CLÉS.** Sécurité, salubrité, alimentation, démographie, climat, technologies, découvertes.

**KEYWORDS.** Security, Safety, Food, Demography, Climate, Technologies, Discoveries.

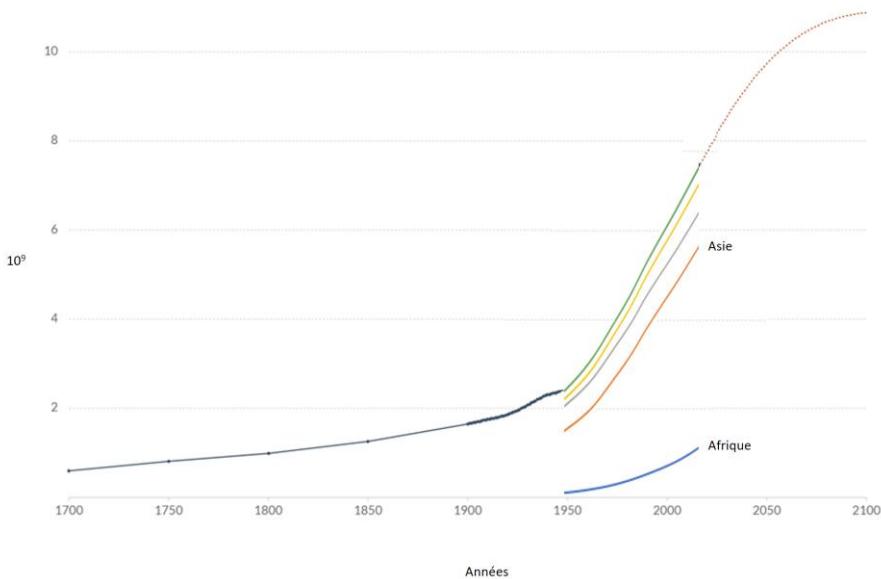
### 1. Introduction

La sécurité et la salubrité alimentaires ne sont pas des enjeux récents à l'échelle de l'humanité [Bir 2019] [Lit 2016]. Ils ont fait l'objet d'efforts incessants dès lors que les êtres humains ont pris conscience de l'échelle du temps dans laquelle la vie s'inscrivait. Le contrôle de ces enjeux s'est développé parallèlement aux connaissances scientifiques et technologiques. On peut situer un point de basculement vers le milieu du 19ème siècle, avec l'apparition des premiers moteurs à combustion qui ont permis l'accroissement de la productivité agricole et le transport des produits, et avec les découvertes pastoriennes qui ont jeté les bases scientifiques de la conservation des aliments.

Cinq piliers de la sécurité alimentaire - au sens large - ont été chronologiquement admis et formalisés au cours des soixante dernières années : le fait que les aliments soient disponibles en quantité suffisante, la possibilité d'accès économique aux ressources, la conformité de qualité sanitaire et de la composition des ingrédients et de l'assiette, la stabilité de l'offre à court et moyen termes, et plus récemment la durabilité à longue échéance du système afin de garantir une solidarité intergénérationnelle [Akr 2009]. Ces dimensions sont d'une importance majeure afin de contribuer à la stabilité de nos sociétés. Cet article passe en revue quelques enjeux liés de la sécurité et la salubrité alimentaires, et des pistes visant à assurer leur continuité. Les aspects plus spécifiques liés à la sécurité alimentaire seront mis en évidence.

## 2. Enjeux liés à la sécurité alimentaire

Paradoxalement, les grands conflits mondiaux ont été des catalyseurs de croissance démographique (Figure 1). C'est particulièrement après la deuxième guerre mondiale que la population humaine a montré une forte expansion relative. Le phénomène a été le plus marqué en Asie, puis par la suite en Afrique. Ce continent est actuellement le seul à présenter une augmentation exponentielle de la population, compensant les décroissances observées ailleurs. La poussée démographique mondiale reste de ce fait linéaire depuis 50 ans, à raison de près de 70 millions d'individus par an.

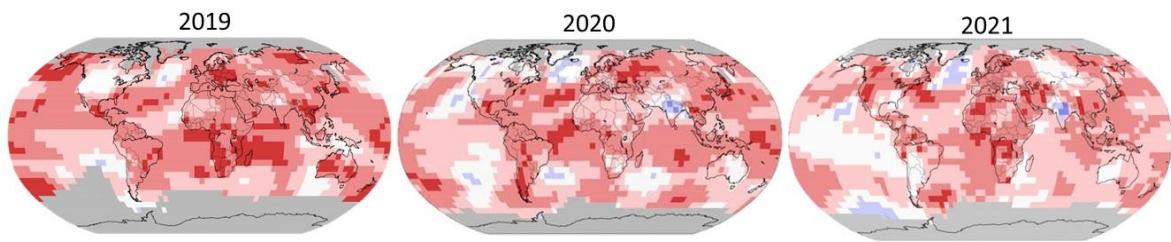


**Figure 1.** Evolution depuis trois siècles de la population mondiale, ventilée de façon cumulative par continent de 1950 à nos jours, et projection d'ici la fin du siècle (d'après [OUR 2021] et [UN 2019]).

L'amélioration des pratiques agro-alimentaires et l'accroissement de la production agricole ont indubitablement contribué à ces bouleversements démographiques. C'est ainsi que la part de la population mondiale alimentée grâce aux pratiques agricoles ayant recours aux engrains synthétiques est passée pratiquement de rien à près de 50% en 60 ans [ERIS 08].

La préservation de la sécurité alimentaire est actuellement menacée et l'humanité doit faire face à des défis, que [HAJ 15] a qualifiés de « mega-trends », ou « tournants » conjoncturels de grande ampleur. Ces virages sont tous d'origine anthropique, et sont susceptibles de contraindre l'humanité à reconsidérer la façon dont elle devra s'alimenter dans les décennies futures. Le mouvement de « marée démographique » évoqué ci-dessus est au nombre de ces défis.

L'augmentation progressive de la température terrestre en est un autre car elle menace les fondements mêmes de la productivité agricole. Le NCEI (Centres Nationaux sur les Informations Environnementales) du NOAA (Administration Nationale Océanique et Atmosphérique du Département du Commerce aux USA) publie chaque année la carte des anomalies thermiques enregistrées sur la planète. Au cours des seules trois dernières années (Figure 2), on observe que la plupart des régions du globe ont présenté des moyennes thermiques anormales par rapport aux dernières décennies. Le réchauffement climatique aura des conséquences sur les capacités des organisations humaines à assurer une production agricole stable. On doit ainsi s'attendre, dans la plupart des régions du monde, à l'émergence d'événements climatiques extrêmes mais peu prévisibles à court terme, tels que des pluies torrentielles ou des températures torrides. La gestion de l'eau, que ce soit pour la stocker ou pour l'obtenir, deviendra de ce fait un enjeu majeur de sécurité alimentaire.



**Figure 2.** Percentiles d'anomalies thermiques (positives en rouge, négatives en bleu) enregistrées sur terre lors des trois dernières années (d'après [NAT 2019] [NAT 2020] [NAT 2021]).

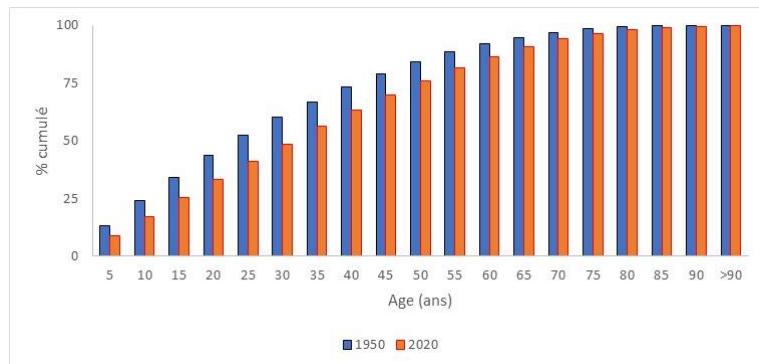
L'urbanisation et les migrations vers les villes reflètent une autre tendance soutenue depuis plusieurs décennies. Elle modifie profondément les rapports de l'être humain à la terre et provoque une évolution d'une insécurité alimentaire globale, climatique, vers une forme plus économique. En effet, les populations urbaines, bien qu'entretenant des relations sociales étroites avec les zones péri-urbaines ou rurales, dépendent davantage de la disponibilité et de l'accès à une nourriture importée. Nonobstant leur densité, elles ne peuvent raisonnablement compter sur une production significative de ressources provenant des villes mêmes. La grande majorité de la surface de ces dernières est en effet peu propice à l'agriculture, du fait de la présence de routes et de bâtiments. Même les tentatives d'aménagement de toitures végétalisées se heurtent à l'existence d'un sol artificialisé dont la profondeur est insuffisante pour permettre de réguler le cycle de l'eau et des nutriments, comme c'est le cas sur les sols naturels. En règle générale, les rendements relatifs d'une telle agriculture ne peuvent donc qu'être faibles. Pour leur alimentation, les populations urbaines dépendent ainsi des productions rurales acheminées par route, mais plus encore des importations empruntant les voies du commerce international, souvent facilité par la présence des grandes villes près des zones portuaires, qu'elles soient fluviales ou maritimes.

Dans les zones urbaines, l'accès privilégié aux ressources alimentaires importées a plusieurs conséquences. D'une part, les individus ne sont plus contraints de cultiver la terre, et d'autre part, ils ont plus facilement accès à des aliments extrêmement raffinés telles que huiles, glucides simples, ou viandes de production intensive. Ces dernières sont elles-mêmes souvent plus riches en graisses – et donc moins riches en protéines animales – du fait de la vitesse avec laquelle les animaux se développent. Les conséquences de l'accès à ces ressources se traduisent par une incidence croissante d'obésité dès lors que les revenus liés à la classe sociale à laquelle l'individu appartient lui permettent d'opérer ces choix. La malnutrition par suralimentation est une autre tendance lourde actuelle.

Par ailleurs, l'accès plus aisé aux denrées importées reflète un autre phénomène qui a pris de l'ampleur depuis la deuxième guerre mondiale, à savoir la rapidité et la fluidité avec laquelle les aliments voyagent le long des circuits de distribution. Ces deux caractéristiques sont le reflet d'un monde uniifié tant sur le plan des transports, que des communications et facilitent par ailleurs les mécanismes d'introgression génétique au sein de niches écologiques, et corrélativement les transferts d'agents pathogènes, avec les risques épidémiques qui y sont liés.

Paradoxalement, on constate que malgré ces menaces, l'espérance de vie moyen de la population progresse continuellement et si la pyramide naturelle des âges se présente normalement – comme son nom l'indique – sous forme pyramidale, elle manifeste une forte érosion relative de la proportion de la population jeune (Figure 3). Dans certains pays tels que le Japon, on constate de surcroît une nette réduction de la natalité [Mat 20]. Certaines pyramides pourraient de ce fait évoluer vers la forme d'une goutte d'eau inversée évoquant l'image d'une montgolfière montant vers un plafond de verre. Même si des états tentent de lutter contre les baisses de natalité en favorisant l'immigration ou en adoptant des réformes en matière de protection des familles, l'évolution globale

de la pyramide des âges aura des conséquences sur les critères de sécurité alimentaire. Avec les années, et particulièrement au-delà d'un seuil chez les personnes plus âgées, les besoins nutritionnels évoluent [RUS 20]. Les besoins énergétiques - essentiellement liés à la consommation de lipides et de glucides - diminuent, alors qu'augmentent ceux en protéines de haute valeur biologique, susceptibles notamment de soulager la fonction rénale, ainsi que ceux en minéraux et en vitamines, sans oublier l'importance des fibres et des facteurs antioxydants. La modification du profil de la pyramide des âges change ainsi progressivement la composition de l'assiette. Il s'agit peut-être d'un des éléments qui expliquent l'intérêt actuel pour les productions de type organique ou biologique.



**Figure 3.** Comparaison du pourcentage cumulé de la population mondiale par catégorie d'âge, entre 1950 et 2020 (calculs d'après [UN 2019])

Prises conjointement, ces évolutions sociétales vont de pair avec une contraction temporelle des processus d'approvisionnement alimentaire mais aussi avec une forme de dilatation spatiale, économique et cognitive des étapes de ces processus. En effet, avec le développement des moyens de transport, les aliments parcouruent davantage de distance, ce qui requiert une multiplication des intermédiaires économiques, atomise la distribution des valeurs ajoutées - agrégées ou non au sein de ces intermédiaires - et cette dilatation se traduit également par un sentiment d'insécurité quant à l'origine des aliments. Ce dernier est responsable d'anxiété, voire de chaos lorsque la confiance déjà fragile du consommateur envers ce qu'il mange est remise en question (Bricas, 2003). Les exemples tels que la crise de la vache folle ou la mise en évidence récurrente de résidus indésirables dans les produits de consommation restent dans les mémoires collectives ou émaillent le quotidien des individus. Cette anxiété est rarement totalement justifiée une fois mise en regard de faits objectifs, mais elle est constitutive de notre nature humaine. Les points d'attention qui mobilisent les sociétés varient cependant selon les cultures. Ainsi, les pays de l'Union Européenne sont particulièrement demandeurs de traçabilité et de transparence au sein de la chaîne alimentaire. Les pays d'Amérique Latine, notamment le Pérou, sont davantage sensibles aux questions de durabilité et d'absence de résidus xénobiotiques dans les produits alimentaires. La zone asiatique, quant à elle, vise avant tout à contrôler l'approvisionnement alimentaire et la biosécurité, notamment via les développements technologiques [ALT 20].

Au vu de ces enjeux, il est justifié de chercher à anticiper comment faire pour assurer la sécurité alimentaire dans les décennies futures. Les questions ne se posent pas uniquement du point de vue de la disponibilité, mais également au travers des autres dimensions de la sécurité et de la salubrité alimentaire.

### 3. Eléments suscitant l'espoir

[KEA 14] ont proposé deux voies pour relever le défi d'assurer une disponibilité alimentaire suffisante dans le futur : consommer moins et produire plus, ou à tout le moins maintenir la capacité actuelle des systèmes de production alimentaire. Un être humain a besoin de l'ordre de 2500 kcal

d'énergie métabolisable par jour, et environ 1 gramme de protéine par kilo de poids vif, soit environ 12% des apports en énergie. La moitié de ces protéines devrait être de haute valeur biologique, riches en acides aminés essentiels, et de profil similaire à celui des tissus humains. Les protéines qui répondent à ces critères sont généralement d'origine animale. Dans un nombre croissant de pays, on peut considérer que les êtres humains consomment le double de cette quantité, pour des raisons hédoniques. Ces dernières sont par ailleurs en partie responsable de l'épidémie d'obésité rencontrée dans la population humaine.

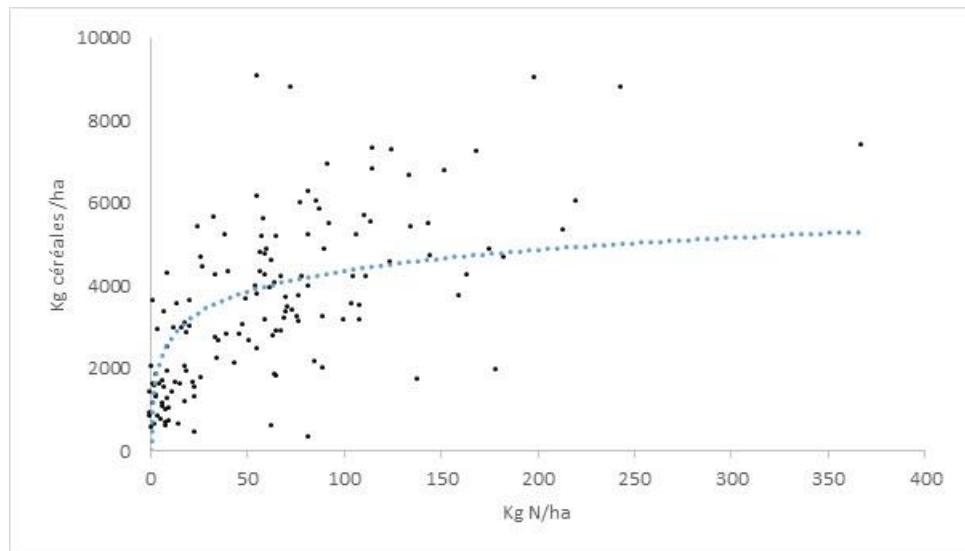
En première approximation, l'animal et ses produits de consommation sont le résultat d'un processus de concentration des protéines - souvent d'origine végétale - qu'il ingère, associé à un raffinement de leur qualité. Les ruminants constituent une exception à cette règle, dans la mesure où la flore de leurs préestomacs est en mesure de synthétiser des protéines microbiennes de très haute valeur biologique à partir de protéines de médiocre qualité, provenant par exemple des céréales, voire à partir d'azote non protéique tel que l'urée. Le principe de base qui sous-tend la construction de l'individu reste toutefois similaire : l'animal extrait des aliments les acides aminés essentiels qu'il ne peut synthétiser lui-même, et les stocke dans ses protéines corporelles ou les exporte dans des produits tels que le lait ou les œufs. L'efficience de ce processus de stockage est malheureusement faible. Dans le meilleur des cas, elle est de l'ordre de 50%, par exemple chez la volaille sélectionnée génétiquement. Elle est nulle pour des animaux non productifs dont la consommation d'aliments leur permet seulement d'assurer un poids stable. Outre la conversion quantitative, il convient également de considérer les enjeux qualitatifs. En effet, la consommation d'une céréale par un animal confère à celui-ci un caractère compétitif vis-à-vis de l'être humain. A contrario, les produits végétaux grossiers ne constituent pas, dans l'état actuel de nos connaissances, une source de nutriments pour l'espèce humaine mais peuvent parfaitement être valorisés par un ruminant pour assurer, *a minima*, la survie. En résumé, à calorie ingérée par l'être humain, celle issue de produits animaux est de l'ordre de deux fois plus exigeante en surfaces agricoles, comparativement à son équivalente d'origine végétale. La réduction de la demande en surfaces agricoles peut donc résulter d'une diminution de la consommation de produits animaux au profit d'autres ingrédients. Elle s'appuie alors sur une modification de l'assiette du consommateur.

D'autre part, une baisse de la demande alimentaire peut être consécutive à un meilleur contrôle des pertes et du gaspillage alimentaire. Les pertes sont souvent liées aux étapes initiales et intermédiaires de la production, par exemple en cas de maladies de cultures, ou d'épidémies animales nécessitant des abattages. Le gaspillage relève plutôt de pertes en fin de chaîne de production, telles que les invendus détruits ou les dépassements de dates limites de consommation. Les pertes sont plus fréquentes dans les pays à faible développement technologique, tandis que le gaspillage se rencontre davantage dans les pays connaissant des situations de pléthores alimentaires. Le gaspillage peut également avoir lieu en début de chaîne de production dans des pays à faibles revenus. Ainsi, la culture sur brulis consiste à nettoyer et amender les sols en minéraux en brulant les pailles naturelles ou de cultures. Outre le fait que cette pratique hypothèque la charge en matière organique des sols, elle prive potentiellement des animaux tel que les ruminants d'une source de nourriture, ou les agriculteurs et les éleveurs d'une autre forme de valorisation de ces ressources, si ces derniers disposaient des technologies suffisantes pour y avoir recours.

Une seconde voie pour soutenir la sécurité alimentaire consisterait à maintenir et augmenter la production agricole ainsi que sa capacité. Cette approche ne semble concevable qu'en augmentant les surfaces culturales ou la production alimentaire par unité de surface. Il s'agit d'un enjeu considérable, et probablement la seconde option est-elle la plus prometteuse, pour des raisons à la fois environnementales liées à la conservation d'espaces dédiés à la biodiversité, et pour des raisons de contraintes physiques.

Le potentiel d'augmentation de la productivité agricole est élevé. Il existe ainsi une relation de type logarithmique entre l'application d'agents phytotechniques, essentiellement les engrains et les

pesticides, et les rendements agricoles. Ces derniers peuvent être décuplés en passant des moins bonnes conditions culturales – absence d’engrais, faible disponibilité en eau, faible développement technologique, faible formation des agriculteurs – aux meilleures d’entre elles. La Belgique, par exemple, affiche une productivité céréalière de près de 10 tonnes de matière sèche par hectare, contre moins de 2 tonnes pour la plupart des pays peu développés (Figure 4). L’application d’intrants a cependant des conséquences néfastes pour l’environnement. Il conviendrait de renforcer les technologies visant à fournir aux plantes les nutriments essentiels de manière « ciblée, au bon moment » afin de maximiser l’efficience d’utilisation qu’elles en font, sans pertes par ruissellement ou lixiviation. A ce titre, il convient de signaler que le continent africain, abstraction faite peut être du Bassin du Congo, est très largement couvert de surfaces peu propices à l’agriculture intensive mais bien adaptées à l’élevage extensif. En d’autres termes, le continent peut aisément produire de la viande bovine, ovine ou caprine, mais à un rythme lent, en raison de la faible valeur énergétique des parcours naturels. Il conviendrait d’en tenir compte dans le cadre des politiques de développement agricole.



**Figure 4.** Productions céréalières nationales dans le monde en fonction de l’application d’azote par hectare (d’après [FAO 20]).

Promouvoir les technologies, leur synergie et leur amélioration sont susceptibles de jouer un rôle décisif dans l’atteinte de la sécurité alimentaire mondiale future. Les ingénieurs ont mis au point des techniques de travail des sols plus respectueuses de leur structure. Elles réduisent l’érosion et favorisent le stockage de carbone dans le sol. D’autre part, les légumineuses peuvent constituer de précieuses alliées afin d’enrichir le sol en azote sans passer par l’application d’engrais azotés, grâce à leurs structures racinaires hébergeant des organismes saprophytes rhizobiaux en mesure de transformer l’azote atmosphérique en azote assimilable par la plante. Les technologies satellitaires, quant à elles, donnent de précieux renseignements pour optimiser l’usage des terres dans le temps et l’espace. Mais une des plus grandes avancées viendra probablement des révolutions dans les domaines des sciences génétiques. Il est maintenant possible de réécrire de courts extraits du code génétique d’un organisme pour tenter d’améliorer ses performances, grâce à la technologie CRISPR-Cas9. D’autre part, l’édition génétique atteint de nos jours des niveaux de rapidité et d’exécution sans précédents.

La première approche – la réécriture du génome - risque de se heurter à de nombreux obstacles en raison des détracteurs – à tort ou à raison - de l’usage des organismes génétiquement modifiés. Pourtant, la technologie mérite d’être considérée pour les avantages qu’elle pourrait apporter [RAO 21]. Par exemple l’amélioration de l’efficacité photosynthétique des plantes - actuellement proche de 1% - pourrait être améliorée. Mais elle poserait certes la question du risque de perte de maîtrise

de la propagation de plantes devenues plus compétitives vis-à-vis de leurs parents naturels. Ce simple exemple montre la prudence avec laquelle ces technologies doivent être utilisées. L'édition génomique, pour sa part, devrait permettre d'identifier rapidement les individus - animaux ou plantes - présentant un avantage compétitif par rapport à leurs congénères. Fondateurs de nouvelles lignées, ils se verraient dotés de résistances à des facteurs biologiques ou abiotiques qui nuisent à la productivité. On peut songer à la résistance à la sécheresse, aux fortes températures, ou encore aux maladies critiques. Néanmoins, de tels individus pourraient également générer des lignées dont les agriculteurs ou les éleveurs n'auraient pas davantage le contrôle en cas d'échappement génétique.

Dans ce contexte, la formation, l'éducation, la transmission des savoirs joueront un rôle essentiel. Comment préserver la fertilité de la terre ? Comment améliorer les conditions écologiques d'élevage afin de mettre les animaux à l'abri du stress ? Comment assurer l'approvisionnement alimentaire des animaux avec des ressources non compétitives pour l'être humain ? Une partie des réponses à ces questions existent potentiellement dans les savoirs endogènes paysans mais elles ne sont pas nécessairement connues et mises en pratiques par les éleveurs privés d'une transmission de connaissances de qualité. Ces savoirs endogènes risquent d'être oubliés en cas de fracture de générations suite à la migration des jeunes vers les villes, et leur désintérêt progressif pour l'agriculture et l'élevage.

#### 4. Conclusions

La sécurité et la salubrité alimentaires sont des enjeux stratégiques de paix. Leur contribution à cette dernière ne sera garantie qu'au prix du maintien de l'adéquation entre l'offre et la demande alimentaire. De nombreux moyens sont actuellement à notre disposition pour tendre vers cet objectif. Certains d'entre eux sont connus et théoriquement à portée d'application. Chercher à optimiser la consommation de produits d'origines animales, par exemple, est concrètement réalisable à titre individuel, voire à titre collectif si les politiques d'alimentation y conduisent au travers de programmes de sensibilisation. Ces derniers peuvent également cibler la problématique du gaspillage. Contrôler les pertes alimentaires relève d'approches déjà plus complexes, car nécessitant une meilleure maîtrise des maladies animales ou végétales, ou un meilleur accès aux technologies agricoles modernes sans augmenter la pression, *in extenso*, sur les milieux écologiques. Les innovations scientifiques, quant à elles, modifient régulièrement l'existence de l'être humain depuis plus d'un siècle et accompagnent la croissance démographique. Leur importance majeure ne peut être niée, eu égard à la proportion de la population qui en bénéficie actuellement. Néanmoins, on ne peut davantage nier l'impact qu'elles ont eu et continuent d'avoir sur la planète, en raison de la consommation énergétique fossile que la plupart d'entre elles requièrent et des résidus qu'elles génèrent. Un exemple trivial est celui de la production d'urée à des fins agricoles. Les technologies en voie de développement ou futures laissent entrevoir cependant des possibilités d'améliorer la sécurité alimentaire mondiale à l'aide d'outils très ciblés dont l'impact environnemental pourrait être négligeable. En faire un inventaire même partiellement exhaustif est impossible dans le cadre de cet article. Mais il s'agirait par exemple de vaccins viraux ayant recours à des variants mutés volontairement et de manière contrôlée, empêchant la réversion de l'agent sous sa forme pathogène, ou encore de produits issus des technologies à ARN messager, qui laissent entrevoir des applications inédites. Ces technologies ne sont en principe pas ou peu énergivores. Elles s'appuient en effet sur la capacité de l'individu – animal ou plante – à mobiliser ses propres ressources. Elles joueront donc un rôle clef dans la réduction des pertes occasionnées dans la chaîne alimentaire, voire dans l'amélioration de la productivité. Cependant, il se pose la question de savoir dans quelles mesures ces technologies seront sous contrôle, accessibles au plus grand nombre et ne feront pas l'objet d'un commerce concurrentiel laissant de côté les personnes ou les pays les plus démunis, à l'image de la situation vécue actuellement dans le cadre de la prévention vaccinale des maladies liées au coronavirus humain.

Un autre enjeu, davantage lié à la salubrité des aliments, concerne la problématique des emballages plastiques, dont l'impact sur la chaîne alimentaire se révèle désastreux. Ils jouent un rôle malheureusement important comme micro-contenants et garants d'une certaine hygiène, ce qui en fait des outils de justice sociale et d'accessibilité à une nourriture plus saine, en particulier dans les villes. Là encore, on peut espérer que les chercheurs développeront rapidement des technologies soit en mesure de remplacer de manière écologique ces composés, soit susceptibles de les dégrader. Ces emballages sont un des reflets de notre dépendance aux ressources dites « fossiles » et à la chimie organique, celle de la synthèse, qui est le support principal des développements technologiques. Cette science est également un instrument de justice en permettant le transport et la préservation de denrées entre des producteurs et des consommateurs mutuellement très éloignés. Certes, certains pays ont l'opportunité de développer une agriculture locale, presque décarbonée, qui pourrait contribuer de manière significative à couvrir les besoins de leur population en aliments de qualité. D'autres, par contre, connaîtraient indubitablement des famines si elles devaient s'engager dans cette voie, en raison de déséquilibres entre la densité de la population et la productivité des terres.

La face sombre de cette chimie a des impacts grandissants sur le climat et l'environnement, il est donc prioritaire de s'en affranchir le plus rapidement possible en développant des alternatives écologiques au moins équivalentes sur le plan économique. Et à ce titre, on voit mal quel autre secteur que celui de la recherche serait en mesure de relever ce défi. Le fait de la financer significativement via des fonds publics contribuerait probablement à garantir une répartition plus équitable des valeurs ajoutées générées par ces technologies futures.

## Bibliographie

- [AKR 09] AKRAM-LODHI A. H. « World food security: a history since 1945 », *Canadian Journal of Development Studies/Revue canadienne d'études du développement*, n°3-4, p. 605-608, 2009.
- [ALL 20] ALLTECH, *Global feed survey*, 2020. Disponible en ligne : [https://www.alltech.com/sites/default/files/GFS\\_Brochure\\_2020.pdf](https://www.alltech.com/sites/default/files/GFS_Brochure_2020.pdf). Consulté le 10 octobre 2021.
- [BIR 19] BIRLOUEZ E. « L'évolution de la perception de la qualité alimentaire au cours des âges », *INRAE Productions Animales*, n° 1, p. 25-36, 2019.
- [BRI 19] BRICAS N., DURY S., FIGUIE M., MAIRE B., DELPEUCH F. « Sécurité alimentaire et urbanisation: enjeux pour l'agriculture intra et péri-urbaine », dans Académie d'Agriculture de France (dir.), *Approvisionnement vivrier des villes du Sud : les enjeux et questions d'une agriculture de proximité*, AGRIS (FAO) Editions, Rome, 2019.
- [ERI 08] ERISMAN J. W., SUTTON M. A., GALLOWAY J., KLIMONT Z., WINIWARTER W. « How a century of ammonia synthesis changed the world », *Nature Geoscience*, n°10, 636-639, 2008.
- [FAO 20] FAOSTAT. Disponible en ligne : <http://www.fao.org/faostat/en/?#data>. Consulté le 15 septembre 2020.
- [HAJ 15] HAJKOWICZ S. *Global Megatrends – Seven Patterns of Change Shaping Our Future*, CSIRO Editions, Canberra, 2015.
- [LIT 16] LITZENBURGER L. « La sécurité alimentaire et sanitaire à Metz à la fin du Moyen Age », *Histoire urbaine*, n°47, 131-148, 2016.
- [MAT 20] MATSUDA S. « Progress of low fertility in Japan and other Asian countries: a theoretical framework », dans Matsuda S. (dir), *Low Fertility in Advanced Asian Economies*, Matsuta S. Editions, Singapore, 2020.
- [NAT 2019] NATIONAL CENTER FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION, *Assessing the global Climate in 2019*. Disponible en ligne : <https://www.ncei.noaa.gov/>. Consulté le 27 septembre 2021.
- [NAT 2020] NATIONAL CENTER FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION, *Assessing the global Climate in 2020*. Disponible en ligne : <https://www.ncei.noaa.gov/>. Consulté le 27 septembre 2021.
- [NAT 2021] NATIONAL CENTER FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION, *Assessing the global Climate in 2021*. Disponible en ligne : <https://www.ncei.noaa.gov/>. Consulté le 27 septembre 2021.
- [OUR 2021] Our World in Data, *World Population Growth*. Disponible en ligne : <https://ourworldindata.org/world-population-growth>. Consulté le 02 octobre 2021.

[RAO 21] RAO M. J., WANG L. « CRISPR/Cas9 technology for improving agronomic traits and future prospective in agriculture » *Planta*, n°4, p. 1-16, 2021.

[RUS 20] RUSU A., RANDRIAMBELONORO M., PERRIN C., VALK C., ÁLVAREZ B., SCHWARZE, A. K. « Aspects influencing food intake and approaches towards personalising nutrition in the elderly », *Journal of Population Ageing*, n° 13, p. 1-18, 2020.

[UN 2019]. UNITED NATIONS. *Department of Economic and Social Affairs. Population Dynamics. World Population Prospects 2019*. Disponible en ligne : <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>. Consulté le 02 octobre 2020.