



Organisation des Nations Unies
pour l'alimentation
et l'agriculture

2022

PERSPECTIVES SUR LES TECHNOLOGIES ET L'INNOVATION DANS LE DOMAINE DES SYSTEMES AGROALIMENTAIRES PRÉSENTATION

Citer comme suit:

FAO. 2023. *Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires. Présentation - 2022*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc2506fr>

Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Le fait qu'une société ou qu'un produit manufacturé, breveté ou non, soit mentionné ne signifie pas que la FAO approuve ou recommande ladite société ou ledit produit de préférence à d'autres sociétés ou produits analogues qui ne sont pas cités.

ISBN 978-92-5-137786-4

© FAO, 2023



Certains droits réservés. Cette œuvre est mise à la disposition du public selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Partage dans les Mêmes Conditions 3.0 Organisations Intergouvernementales (CC BYNC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/legalcode.fr>).

Selon les termes de cette licence, cette œuvre peut être copiée, diffusée et adaptée à des fins non commerciales, sous réserve que la source soit mentionnée. Lorsque l'œuvre est utilisée, rien ne doit laisser entendre que la FAO cautionne tels ou tels organisation, produit ou service. L'utilisation du logo de la FAO n'est pas autorisée. Si l'œuvre est adaptée, le produit de cette adaptation doit être diffusé sous la même licence Creative Commons ou sous une licence équivalente. Si l'œuvre est traduite, la traduction doit obligatoirement être accompagnée de la mention de la source ainsi que de la clause de non-responsabilité suivante: «La traduction n'a pas été réalisée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). La FAO n'est pas responsable du contenu ni de l'exactitude de la traduction. L'édition originale [langue] est celle qui fait foi.»

Tout litige relatif à la présente licence ne pouvant être résolu à l'amiable sera réglé par voie de médiation et d'arbitrage tel que décrit à l'Article 8 de la licence, sauf indication contraire contenue dans le présent document. Les règles de médiation applicables seront celles de l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (<http://www.wipo.int/amc/fr/mediation/rules>) et tout arbitrage sera mené conformément au Règlement d'arbitrage de la Commission des Nations Unies pour le droit commercial international (CNUDCI).

Matériel attribué à des tiers. Il incombe aux utilisateurs souhaitant réutiliser des informations ou autres éléments contenus dans cette œuvre qui y sont attribués à un tiers, tels que des tableaux, des figures ou des images, de déterminer si une autorisation est requise pour leur réutilisation et d'obtenir le cas échéant la permission de l'ayant-droit. Toute action qui serait engagée à la suite d'une utilisation non autorisée d'un élément de l'œuvre sur lequel une tierce partie détient des droits ne pourrait l'être qu'à l'encontre de l'utilisateur.

Ventes, droits et licences. Les produits d'information de la FAO sont disponibles sur le site web de la FAO (www.fao.org/publications) et peuvent être achetés sur demande adressée par courriel à: publications-sales@fao.org. Les demandes visant un usage commercial doivent être soumises à: www.fao.org/contact-us/licence-request. Les questions relatives aux droits et aux licences doivent être adressées à: copyright@fao.org.

Photographie de couverture:
© FAO/Luis Tato

2022

**PERSPECTIVES SUR LES
TECHNOLOGIES ET
L'INNOVATION DANS LE
DOMAINE DES SYSTÈMES
AGROALIMENTAIRES
PRÉSENTATION**

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
Rome, 2023

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	IV	7.3 Repérage de technologies émergentes à partir de données non structurées à l'aide de l'intelligence artificielle	55
REMERCIEMENTS	V	7.4 Examen	58
SIGLES ET ACRONYMES	VI	7.5 Améliorer le recours à l'intelligence artificielle dans le cadre des Perspectives	59
GLOSSAIRE	VII	CHAPITRE 8	
RÉSUMÉ	VIII	SOLUTIONS MATURES DU CHAMP DES SCIENCE, TECHNOLOGIE ET INNOVATION	63
CHAPITRE 1		8.1 Accélération de l'adoption des innovations pré-émergentes et émergentes	69
POURQUOI DES PERSPECTIVES SUR LES TECHNOLOGIES ET L'INNOVATION DANS LE DOMAINE DES SYSTÈMES AGROALIMENTAIRES?	1	CHAPITRE 9	
1.1 Théorie du changement	5	SYNTHÈSE DES DONNÉES PROBANTES AUX FINS D'UNE ÉVALUATION INTÉGRÉE DE L'IMPACT	73
CHAPITRE 2		CHAPITRE 10	
PORTÉE DES PERSPECTIVES ET DES STI AU SERVICE DE LA TRANSFORMATION DES SYSTÈMES AGROALIMENTAIRES	11	INDICATEURS SYNTHÉTIQUES PAR PAYS	77
CHAPITRE 3		10.1 Méthodes de calcul des indices synthétiques	78
DYNAMIQUES DU DÉVELOPPEMENT ET DE LA DIFFUSION DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE L'INNOVATION AU SERVICE DES SYSTÈMES AGROALIMENTAIRES	17	CHAPITRE 11	
CHAPITRE 4		CRÉATION D'UN CONSORTIUM POUR L'ÉDITION 2024 DES PERSPECTIVES ET LES SUIVANTES	81
BESOINS ET APPROCHES EN MATIÈRE DE DONNÉES	25	CHAPITRE 12	
CHAPITRE 5		FRÉQUENCE DE PARUTION ET CONTENU DES PERSPECTIVES	87
INDICATEURS DE CONTRIBUTION DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE L'INNOVATION AUX SYSTÈMES AGROALIMENTAIRES	31	ANNEXE A	90
CHAPITRE 6		Informations détaillées sur les indicateurs examinés	90
INDICATEURS RELATIFS AUX AVANCÉES PRÉ-ÉMERGENTES DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE L'INNOVATION	37	ANNEXE B	97
6.1 Dresser une liste d'innovations potentielles	42	Sources potentielles d'informations sur les start-up actives dans le domaine des systèmes agroalimentaires	97
6.2 Définir les compétences utiles	44	ANNEXE C	102
6.3 Repérer et sélectionner les experts potentiels	45	Méthodes structurées d'élicitation d'experts	102
6.4 Élicitation structurée d'avis d'experts utilisée dans le cadre des Perspectives	46	ANNEXE D	106
CHAPITRE 7		Avancées émergentes en matière de STI	106
INDICATEURS RELATIFS AUX AVANCÉES ÉMERGENTES DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE L'INNOVATION	51	RÉFÉRENCES	112
7.1 Indicateurs et sources de données	51		
7.2 Accès aux données et disponibilité de sources de données	54		

TABLEAUX

1 Inventaire des données relatives aux différents intrants de la science, de la technologie et de l'innovation au service des systèmes agroalimentaires (indicateurs/séries/nombre de priorités)	33
2 Résumé d'un inventaire rapide des conférences sur les innovations dans le domaine agroalimentaire et des experts susceptibles d'y participer	47
3A Sources de données relatives à la faisabilité commerciale	56
3B Sources de données relatives aux tendances	56
3C Sources de données relatives à l'impact de la science et des technologies	57
4 Inventaire des données sur les solutions matures du champ des science, technologie et innovation pour différentes composantes des systèmes agroalimentaires	64
5 Coopération des différentes parties prenantes à la base de données sur les variétés cultivées et avantages retirés	67
A1 Séries de données sur les intrants de la science, de la technologie et de l'innovation répondant à tous les critères d'inclusion	90
A2 Séries de données sur les avancées matures de la science, de la technologie et de l'innovation répondant à tous les critères d'inclusion	92
A3 Séries de données sur les intrants de la science, de la technologie et de l'innovation ne répondant pas à un ou plusieurs critères d'inclusion	94
A4 Séries de données sur les avancées matures de la science, de la technologie et de l'innovation ne répondant pas à un ou plusieurs critères d'inclusion	95
B1 Classement des sources de financement de start-up examinées	98
B2 Définition des premières étapes de financements	99
C1 Types d'élicitation	103

FIGURES

1 Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires: théorie du changement	6
2 Dynamiques du développement et de la diffusion des solutions issues de la science, de la technologie et de l'innovation, catégories de données et méthodes d'évaluation de l'impact	20
3 Détection et évaluation itératives d'innovations pré-émergentes au moyen d'un mélange de méthodes de collecte de données et de l'élicitation d'avis d'experts	39
4 Dimensions de l'indice TRI	41
5 Proposition d'un flux de travaux pour l'évaluation d'innovations pré-émergentes	48
6 Diagramme conceptuel des systèmes agroalimentaires	52
7 Indicateurs et sources des données	53
8 Utilisation de l'intelligence artificielle	58
9 Mesures visant à accélérer la transformation des systèmes agroalimentaires	69
D1 Sujets mis en évidence dans les données de brevet	107
D2 Nombres de documents par sujet et par mois, 2021	108
D3 Pondération des sujets	109
D4 Corrélation entre les interventions trouvées et les sujets détectés	110
D5 Différentes sources de brevets et mesures de cohérence par rapport aux modèles de sujets	111

ENCADRÉS

A Thèmes des rapports de l'OCDE, de l'UNESCO, de l'OMPI et de la CNUCED sur la science, la technologie et l'innovation	13
B Difficultés en matière de données	27
C Évaluer le niveau de maturité technologique	40
D Évaluer la possibilité qu'une technologie ou une innovation soit adoptée	41
E Financement participatif dans les pays du Sud	43
F Arguments en faveur d'une base de données sur les variétés cultivées	67
C1 Exemple de déroulement des activités pour l'élicitation d'experts	104

AVANT-PROPOS

Le monde connaît actuellement des problèmes complexes, notamment des conflits, des situations d'urgence humanitaire et les effets de la crise climatique et de la pandémie de covid-19, qui secouent les économies, provoquent leur repli et perturbent les chaînes d'approvisionnement internationales. Ces crises contribuent à la hausse spectaculaire de la faim et des inégalités dans le monde et entraînent une très forte dégradation des niveaux de vie des populations les plus vulnérables. À mesure que la planète se réchauffe et que les ressources naturelles se raréfient, les efforts que nous menons pour réaliser les objectifs de développement durable (ODD) se voient compromis.

Le Cadre stratégique 2022-2031 de la FAO reflète notre engagement sans réserve envers le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et détaille les raisons pour lesquelles il est vital de transformer les systèmes agroalimentaires pour les rendre plus efficaces, plus inclusifs, plus résilients et plus durables. En effet, seule cette transformation peut permettre de réaliser *les quatre améliorations*, c'est-à-dire d'améliorer la production, la nutrition, l'environnement et les conditions de vie de tous. Toutefois, il ne sera pas aisé de produire davantage de denrées alimentaires tout en réduisant l'utilisation d'intrants, de continuer de satisfaire une demande croissante et, dans le même temps, de régler les nombreux problèmes qui, aujourd'hui, entravent l'accès à une alimentation saine et abordable, compromettent les moyens d'existence et font obstacle à l'élimination de la pauvreté et de la faim.

La transformation des systèmes agroalimentaires ne sera possible que si l'on recourt de manière réfléchie à la science, à la technologie et à l'innovation (STI). De fait, le domaine des STI est un élément central de ma vision d'une FAO redynamisée et est indispensable à la construction

d'un avenir meilleur. La Stratégie de la FAO en matière de science et d'innovation, adoptée récemment, contribue à renforcer le recours à la science et à l'innovation dans le cadre des activités techniques de l'Organisation et des orientations normatives qu'elle fournit.

Cela étant, l'adoption des technologies et des innovations est actuellement insuffisante dans de nombreux pays à faible revenu et à revenu intermédiaire. L'un des éléments clés dont on disposera pour remédier à cette faiblesse sera un nouveau produit axé sur les connaissances intitulé *Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires*. Cette publication biennale, produite par la FAO et ses partenaires, rassemblera des informations à jour sur l'état du domaine des STI dans le monde. Cette activité très utile de curation des données sera complétée par un balayage d'horizon et des analyses prospectives sur les voies d'impact que plusieurs solutions STI en cours d'élaboration pourraient suivre, et par des synthèses des données probantes disponibles sur l'impact de ces solutions. Les Perspectives présenteront des données et des analyses établies à partir de nombreuses sources, ce qui en fera une publication phare qui aidera les décideurs du monde entier dans le domaine des systèmes agroalimentaires.

On ne dispose pas de suffisamment de données et d'analyses scientifiques relatives aux nombreuses composantes des systèmes agroalimentaires et à la manière dont le recours à la science, à la technologie et à l'innovation peut aider à combler cette lacune. Ce nouveau produit devrait donc jouer un rôle majeur, et j'espère qu'il deviendra un outil précieux pour la création d'un monde plus équitable. Le présent rapport présente les Perspectives et détaille les conditions qui devront être réunies pour qu'elles puissent remplir leur rôle.



Qu Dongyu
Directeur général de la FAO

REMERCIEMENTS

Le présent rapport a été établi par une équipe pluridisciplinaire dirigée par l'Université Cornell, sous la supervision de Mona Chaya, Conseillère principale, et de Preetmoninder Lidder, Conseillère technique au sein du Bureau de la Scientifique en chef, Ismahane Elouafi, laquelle a donné des orientations générales.

Équipe chargée des recherches et de la rédaction: Christopher B. Barrett¹, Shamaila Ashraf², Jessica Fanzo³, Mario Herrero¹, Daniel Mason-D'Croz¹, Sudha Narayanan⁴, Jaron Porciello^{1,2}, Medha Bulumulla¹, Jackson Hart¹, Jasmin Higo¹, Cody Kugler¹, Jialu Li¹, Claire Lynch¹, Shivanshu Sharma¹, Juan Vergara¹ et Hongdi Zhao¹.

Contributions de la FAO:

Valérie Bizier, Henry Burgsteden, Delgermaa Chuluunbaatar, Pietro Conforti, Beth Crawford, José Rosero Moncayo et Atef Swelam.

Contributions supplémentaires:

Channing Arndt, Phil Campbell, Julia Compton, Soumitra Dutta, Keith Fuglie, Doug Gollin, Greg Graff, Mark Kahn, Theo Kargere, Ed Mabaya, Phil Pardey, Prabhu Pingali, Roseline Remans, Gert-Jan Stads, Keith Wiebe et Heather Zornetzer.

On remerciera tout spécialement Ludovica Mei (FAO), qui a coordonné la production, et Jonathan Robinson (FAO), qui a édité le texte.

¹ Cornell University

² Havos.ai

³ Université Johns Hopkins

⁴ Institut international de recherche sur les politiques alimentaires.

SIGLES ET ACRONYMES

3ie	International Initiative for Impact Evaluation	NASA	National Aeronautics and Space Administration
ASTI	indicateurs relatifs aux sciences et technologies agricoles	NER	Named-entity recognition
CNUCED	Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement	ODD	objectifs de développement durable
CoSAI	Commission on Sustainable Agriculture Intensification	OMPI	Organisation mondiale de la propriété intellectuelle
GPS	Global Positioning System	PCT	Traité de coopération en matière de brevets
HLPE	Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition	PIB	produit intérieur brut
IA	intelligence artificielle	PRFI	pays à revenu faible ou intermédiaire
IDH	indice de développement humain	PTF	productivité totale des facteurs
IFPRI	Institut international de recherche sur les politiques alimentaires	R-D	recherche-développement
IFSS	Innovative Food Systems Solutions	SIRAN	Service international pour la recherche agricole nationale
InStePP	International Science & Technology Practice & Policy	SPEED	statistiques sur les dépenses publiques consacrées au développement économique
ISAAA	Service international pour l'acquisition des applications d'agro-biotechnologie	STI	science, technologie et innovation
		TLN	traitement du langage naturel

GLOSSAIRE

Le **balayage d'horizon** consiste en la recherche et l'étude des signes de changement dans le présent et de leurs éventuelles incidences futures.

Un **indicateur** est une mesure qui reflète l'état ou le niveau d'un phénomène étudié.

L'**innovation** consiste à faire quelque chose de nouveau et de différent, par exemple résoudre un problème ancien d'une manière nouvelle, traiter un nouveau problème avec une solution éprouvée ou apporter une solution nouvelle à un problème nouveau¹. Les différents types d'innovation comprennent les innovations technologiques, sociales, politiques, institutionnelles et financières, ainsi que l'adaptation de méthodes établies de longue date (autochtones, par exemple) à des applications à plus grande échelle, comme pour certaines approches agricoles durables (par exemple l'agroécologie). Dans le contexte des systèmes agroalimentaires, le verbe «innover» sert à désigner le processus par lequel des individus, des communautés ou des organisations modifient la conception, la production ou le recyclage de biens et de services, ainsi que l'environnement institutionnel, en apportant des éléments nouveaux par rapport à leur contexte, qui favorisent la transition vers des systèmes alimentaires durables au service de la sécurité alimentaire et de la nutrition. Le substantif «innovation» désigne les changements produits par ce processus. L'innovation englobe les modifications des pratiques, des normes, des marchés et des dispositifs institutionnels susceptibles de favoriser de nouveaux réseaux de production alimentaire, de transformation, de distribution et de consommation qui pourront remettre en question l'état des choses (HLPE, 2019).

L'**innovation agricole** est le processus par lequel des personnes ou des organisations utilisent pour la première fois des produits, des processus ou des modes d'organisation nouveaux ou préexistants dans un contexte spécifique afin d'accroître l'efficacité, la compétitivité, la résilience face aux chocs et la durabilité environnementale et de contribuer ainsi à la sécurité alimentaire et à la nutrition, au développement économique ou à la gestion durable des ressources naturelles (FAO, 2019).

Les **scénarios** sont les diverses situations ou modèles de l'avenir qui servent à étudier d'autres voies

d'action possibles et les multiples futures incidences possibles d'une intervention actuelle.

La **science** désigne l'entreprise par laquelle l'être humain tente, individuellement ou en groupes, de manière organisée et grâce à l'étude objective de phénomènes observés et à la validation de celle-ci par le partage des conclusions et des données et un examen par des pairs, de mettre en lumière et de maîtriser la chaîne de causalité, de relations ou d'interactions, reliant de manière coordonnée des sous-systèmes de connaissances à l'aide d'une réflexion et d'une conceptualisation systématiques, et se donnant ainsi la possibilité d'utiliser, à son propre avantage, sa compréhension des processus et phénomènes à l'œuvre dans la nature et la société². Comme l'explique le Comité des droits économiques, sociaux et culturels, d'autres systèmes de savoir et moyens de connaissance, notamment les savoirs locaux, traditionnels et autochtones, coexistent avec la science et ont un rôle important à jouer dans le débat scientifique mondial³.

Les **systèmes agroalimentaires** englobent tous les acteurs, ainsi que leurs activités interdépendantes d'ajout de valeur, qui participent à la production primaire de produits agricoles alimentaires et non alimentaires, ainsi qu'à l'entreposage, au groupage, à la manutention après récolte, au transport, à la transformation, à la distribution, à la vente et à la consommation de produits alimentaires, y compris ceux d'origine non agricole, et à l'élimination des déchets.

La **technologie** comprend le recours à la science et aux connaissances aux fins de la mise au point de techniques permettant de fournir un nouveau produit et/ou un nouveau service ou d'utiliser un nouveau processus pour fournir un produit ou service existant⁴. Les technologies naissent parfois incidemment mais sont plus généralement mises au point de manière intentionnelle; elles sont donc intégrées dans les relations sociales, économiques et environnementales et ont une influence sur ces dernières.

2 Conférence de l'UNESCO, recommandation concernant la science et les chercheurs scientifiques (2017) (paragraphe 1.a.i).

3 Comité des droits économiques, sociaux et culturels, observation générale n° 25 sur la science et les droits économiques, sociaux et culturels, dans le Pacte international relatif aux droits économiques, sociaux et culturels, 2020 (paragraphe 39).

4 Adapté du document portant la cote A/74/238. Les technologies agricoles au service du développement durable. Rapport du Secrétaire général. Assemblée générale des Nations Unies, 74^e session.

1 UN Innovation Toolkit, 2019. <https://www.uninnovation.network/un-innovation-toolkit>.

RÉSUMÉ

Il est de plus en plus largement reconnu que le monde doit accélérer et réorienter la transformation des systèmes agroalimentaires pour rendre ces systèmes plus efficaces, plus inclusifs, plus résilients et plus durables de sorte qu'ils permettent d'apporter des améliorations en matière de production, de nutrition, d'environnement et de conditions de vie, sans que personne ne soit laissé de côté, comme souligné dans le Cadre stratégique 2022–2031 de la FAO. Les *quatre améliorations* traduisent l'interdépendance des aspects économiques, sociaux et environnementaux du développement durable, qui font partie intégrante des systèmes agroalimentaires et englobent non seulement la production primaire de l'agriculture, de la pêche et des forêts, mais également le secteur manufacturier et les services – qui représentent plus de 70 pour cent de la valeur ajoutée dans les dépenses alimentaires des consommateurs –, les effets des régimes alimentaires sur la nutrition et la santé, et les effets en retour sur l'environnement naturel, dont dépendent toutes les fonctions humaines et naturelles de l'ensemble des systèmes agroalimentaires. Le but de la transformation des systèmes agroalimentaires est de produire davantage de denrées en utilisant moins d'intrants afin de faire face aux futures hausses de la demande tout en atténuant, voire en inversant, les effets néfastes de ces systèmes sur le climat, la biodiversité, les forêts, les sols et l'eau, en réduisant les pertes et les gaspillages de nourriture ainsi que les prix alimentaires afin d'améliorer l'accès à une alimentation saine et abordable, en créant de nouveaux moyens de subsistance et en favorisant l'inclusion sociale en vue d'éliminer l'extrême pauvreté.

La transformation des systèmes agroalimentaires aux fins des *quatre améliorations* nécessite d'accorder davantage d'attention au développement, à l'adaptation et à la diffusion de solutions à fort impact dans le domaine des sciences, des technologies et de l'innovation (STI). Le degré et les modalités d'adoption actuels de ces solutions ne permettent pas de faciliter la transformation qui doit être opérée, en particulier dans les pays à revenu faible ou intermédiaire (PRFI). En outre, on ne comprend pas assez bien les données descriptives et les données d'évaluation relatives aux solutions STI existantes

et émergentes pour pouvoir en faire une gestion réfléchie et concrétiser les objectifs multiples des systèmes agroalimentaires de demain, à savoir l'efficacité, l'inclusion, la résilience et la durabilité. Cela est particulièrement vrai pour les innovations technologiques, sociales, stratégiques, financières et institutionnelles nécessaires à la réalisation du potentiel des technologies fondées sur la science et l'ingénierie. Étant donné que les effets des solutions STI sur la société sont lents à apparaître, il est impératif d'agir dès maintenant si l'on veut réorienter les STI afin qu'elles fassent davantage que de renforcer les modèles hérités du passé.

Le présent rapport détaille la vision, la justification, la portée et les méthodes d'élaboration des nouveaux produits axés sur les connaissances que la FAO mettra au point dans le cadre d'une nouvelle série intitulée *Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires*. Cette démarche constituera une entreprise d'envergure et une initiative pionnière que l'Organisation pilotera avec l'appui de plusieurs partenaires clés à l'échelle mondiale. Elle prendra la forme d'un processus itératif visant à mettre au point une nouvelle publication biennale de la FAO à laquelle s'ajouteront occasionnellement des publications de portée plus restreinte et une base de données en accès libre qui sera régulièrement mise à jour. L'objectif sera de rassembler les informations existantes sur l'état actuel des STI tel qu'il peut être mesuré, les changements à venir dans ces domaines et leur potentiel de transformation en vue d'éclairer les dialogues sur les politiques et la prise de décisions fondés sur des éléments factuels, notamment en ce qui concerne les investissements. Les décideurs et leurs conseillers, ainsi que les investisseurs publics et privés et les organisations philanthropiques qui financent la recherche-développement (R-D) dans le domaine des STI au service des systèmes agroalimentaires, ont besoin d'informations claires et non techniques reposant sur des données scientifiques solides, et notamment de données en accès libre qui facilitent la prise de décisions et la planification des investissements. Or, les données et les analyses pertinentes sont actuellement éparses et difficiles à synthétiser ou à obtenir du point de vue des décideurs, lesquels

ont besoin d'une vue d'ensemble des systèmes agroalimentaires qui recouvre aussi bien leur état présent que leurs perspectives d'avenir. Les Perspectives rassembleront les données et analyses existantes provenant d'une myriade de sources différentes pour former un ensemble intégré de données exploitables à l'intention des décideurs clés œuvrant à tous les niveaux des systèmes agroalimentaires dans le monde entier. Ce processus sera nécessairement long, puisqu'il s'agira de recenser les sources de données, de les harmoniser et d'en négocier l'accès libre, puis de procéder à leur curation en vue de s'assurer que les données soient exploitables et de qualité.

L'initiative permettra également d'attirer l'attention sur les lacunes importantes en matière de données et d'éléments probants, qu'il pourrait être nécessaire de combler au moyen d'efforts concertés. Les Perspectives pourront servir à défendre des propositions – par exemple la hausse ou la diversification des investissements dans la R-D sur les systèmes agroalimentaires et des réformes institutionnelles et stratégiques –, et aider des entités des secteurs public et privé à définir des priorités. L'objectif est qu'elles deviennent une publication périodique de référence et une source de données en accès libre d'importance majeure sur la manière dont la science, les technologies et l'innovation peuvent faciliter ou facilitent déjà la transition vers des systèmes agroalimentaires plus efficaces, plus inclusifs, plus résilients et plus durables. Enfin, et c'est peut-être le plus important, cette initiative fera fond sur l'inégalable capacité de mobilisation de la FAO dans le domaine des systèmes agroalimentaires à l'échelle mondiale pour contribuer à la tenue de débats fructueux au sein de la société sur le rôle des solutions STI dans la transformation des systèmes agroalimentaires et l'accroissement de l'inclusion et de la transparence dans le seul secteur socioéconomique dont chaque être humain dépend au quotidien.

Les Perspectives se distingueront par la mise au point de produits axés sur les connaissances qui, pris ensemble, couvriront la totalité du cycle de vie des solutions STI au service des systèmes agroalimentaires dans le monde entier, cycle qui se divise en quatre phases clés. La première concerne les intrants, à savoir les investissements,

les ressources humaines, les politiques et les autres facteurs qui contribuent aux avancées en matière de STI. Durant la seconde phase, préalable à l'émergence de nouvelles solutions STI, les avancées scientifiques fondamentales et appliquées donnent naissance à des idées, des matériaux, des méthodes et des processus prometteurs mais qui ne sont pas encore en circulation ni utilisés de façon non contrôlée en situation réelle. La troisième phase, celle de l'émergence, correspond à la période durant laquelle les nouvelles solutions commencent à être utilisées au quotidien par des acteurs et des entreprises des systèmes agroalimentaires qui agissent en dehors du contrôle des chercheurs, mais sont encore trop neuves pour que leur diffusion fasse l'objet d'un suivi systématique. La phase finale, celle de la maturité, concerne les solutions bien établies qui sont utilisées en situation réelle depuis suffisamment longtemps et à une échelle assez grande pour qu'un suivi systématique de leur diffusion soit réalisable. De nombreuses solutions matures finissent par devenir obsolètes en raison de l'émergence d'une nouvelle génération de solutions arrivées à maturité.

À chaque phase du cycle de vie doivent correspondre des méthodes de collecte, d'analyse et de curation de données distinctes ainsi que différentes méthodes de synthétisation des données probantes aux fins de l'évaluation d'impact. Une nouvelle technologie ou innovation ne sera incluse dans les Perspectives que si l'adaptation ou l'association de celle-ci aux systèmes agroalimentaires est évoquée dans les publications scientifiques et professionnelles, quand bien même elle ne le serait qu'à titre hypothétique, ou attestée dans la pratique. Une difficulté à signaler est que seules les données préexistantes feront l'objet d'une curation et d'une analyse dans le cadre de cette démarche, qui n'inclut pas la collecte de nouvelles données primaires et doit donc reposer sur les systèmes de données existants. Par conséquent, les produits axés sur les connaissances auront aussi pour utilité précieuse de servir à relever les principaux manques d'éléments probants pouvant être comblés au moyen de nouveaux systèmes de collecte de données primaires, lesquelles pourront ensuite être exploitées dans

le cadre de l'élaboration des Perspectives. Un examen approfondi des sources de données qui remplissent un ensemble de critères d'inclusion clés révèle, par exemple, qu'il existe peu de systèmes de collecte de données et d'éléments probants relatifs aux innovations impulsées par les agriculteurs, aux innovations sociales ou politiques – par opposition aux technologies fondées sur la science ou l'ingénierie – et aux stades intermédiaires et finaux (consommateurs) des chaînes de valeur agroalimentaires. Les Perspectives peuvent donc éclairer non seulement les décisions en matière d'investissement ou de politiques, mais également les choix que font les organismes de recherche et de décision au sujet de la collecte et de l'analyse de données.

L'ambition de créer un produit qui couvre l'intégralité du cycle de vie des solutions STI au service des systèmes agroalimentaires pose un défi de taille. La liste des ensembles de données existants relatifs aux intrants des STI et aux solutions matures qui remplissent les grands critères d'inclusion est relativement courte, en particulier en ce qui concerne les technologies utilisées après la sortie de l'exploitation et les innovations financières, institutionnelles, sociales et stratégiques, comparé à celle des technologies utilisées pour la production primaire fondées sur les sciences naturelles et l'ingénierie. En outre, elle inclut peu de solutions STI nées en dehors des cadres de recherche formels. L'élaboration des Perspectives peut être un moyen d'élargir, d'harmoniser et d'actualiser la couverture des principaux indicateurs en mettant à disposition un tableau de bord amélioré afin d'aider les organisations publiques, privées et philanthropiques à faire face aux défis que poseront les systèmes agroalimentaires à l'avenir et à saisir les possibilités qu'ils offriront. Par ailleurs, les ensembles de données existants portent principalement sur les stades initial et final du cycle de vie – à savoir les intrants et les solutions STI arrivées à maturité –, aussi constate-t-on d'importantes lacunes s'agissant des solutions STI pré-émergentes et émergentes au service des systèmes agroalimentaires. L'accélération de la transformation des systèmes agroalimentaires nécessite d'accorder une bien plus grande attention à ces stades intermédiaires d'importance

critique, notamment pour aider à raccourcir les délais non négligeables entre les investissements initiaux dans la R-D et la diffusion de nouvelles solutions STI à fort impact auprès des acteurs des systèmes agroalimentaires à l'échelle mondiale. Enfin, on trouve peu de synthèses des données probantes disponibles aux fins de l'évaluation de l'impact des solutions STI au service des systèmes agroalimentaires, et celles-ci sont difficiles à trouver.

Les Perspectives auront donc également pour rôle clé de rassembler les synthèses des données probantes aux fins des évaluations d'impact des solutions STI au service des systèmes agroalimentaires, des évaluations *ex ante* des technologies pré-émergentes jusqu'aux évaluations *ex post* de l'impact des solutions émergentes et matures, aussi bien prises individuellement que regroupées en fonction des contextes spécifiques propres aux systèmes agroalimentaires. Elles constitueront un portail pour la présentation d'examens exploratoires et systématiques ainsi que de méta-analyses statistiques sur l'ensemble des données probantes liées aux évaluations d'impact, qui fait la lumière sur ce qui devrait fonctionner ou ce qui a fait ses preuves, à quel endroit et dans quelles conditions. Il s'agit là des données parmi les plus intéressantes pour les organismes disposant de ressources limitées, en particulier peut-être ceux qui se trouvent dans les PRFI. Les Perspectives pourront également aider à recenser les domaines clés où il existe des lacunes en matière de données probantes et où il faut réaliser sans attendre des évaluations d'impact pour produire des synthèses exploitables des données probantes et ainsi mettre en évidence les principales insuffisances en matière de biens publics mondiaux.

Chaque édition des Perspectives sera une publication biennale mise au point sur un cycle de deux ans. Une fois que l'équipe, les protocoles et les plateformes électroniques de base auront été établis et que la première édition aura été publiée, il se pourrait que des éditions complémentaires traitant de questions auxiliaires de façon plus succincte paraissent entre les éditions biennales. Les portails de données en accès libre et de

synthèses des données probantes seront actualisés fréquemment en cours d'année.

La FAO, en sa qualité d'institution spécialisée des Nations Unies chargée de diriger l'action internationale contre la faim, a pour responsabilité particulière d'aider à informer et à conseiller les décideurs publics et privés pour accélérer la nécessaire transformation des systèmes agroalimentaires à l'échelle mondiale, en particulier dans les PRFI. Il n'y a aucun doute quant au fait que les systèmes agroalimentaires d'aujourd'hui connaîtront une mutation, mais la rapidité, la direction et les répercussions de cette

mutation peuvent et doivent être influencées par des données exploitables. À l'heure actuelle, on ne dispose pas de données ni d'analyses scientifiquement vérifiées suffisamment intégrées, d'assez bonne qualité et de portée mondiale sur la totalité du cycle de vie des solutions STI au service des systèmes agroalimentaires qui permettraient de favoriser un dialogue constructif sur les politiques et de susciter une hausse des investissements dans ces solutions, dont on a besoin d'urgence, en particulier dans les PRFI. Les Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires seront un grand pas dans cette direction.



GUYANA

Herman Phillips, 63 ans, a vécu toute sa vie en autosuffisance dans la région de Rupununi. Il estime que c'est là son droit naturel en tant qu'habitant autochtone de cette région. Il pêche au moyen de filets et de lignes et se sert de son arc et de ses flèches pour chasser en forêt.

CHAPITRE 1

POURQUOI DES PERSPECTIVES SUR LES TECHNOLOGIES ET L'INNOVATION DANS LE DOMAINE DES SYSTÈMES AGROALIMENTAIRES?

Depuis au moins 10 000 ans, les êtres humains modifient l'environnement naturel pour produire plus d'aliments en vue d'améliorer les conditions de vie et les moyens d'existence d'une population en expansion, avec beaucoup de succès sur les plans agronomique et économique. La production agricole mondiale a plus ou moins été multipliée par quatre ces 50 dernières années, progressant bien plus rapidement que la croissance démographique, et la productivité totale des facteurs (soit la production par unité d'intrant) a à peu près doublé pendant la même période malgré les nombreux obstacles créés par le changement climatique (Keating *et al.*, 2014; Ortiz-Bobera *et al.*, 2021). D'après les meilleures estimations disponibles, si la révolution verte connue des années 1960 à 1980 ne s'était jamais produite, le revenu par habitant actuel des pays en développement aurait été divisé par deux (Gollin *et al.*, 2021). Les quelque 60 milliards d'USD investis ces 50 dernières années dans la recherche-développement (R-D) par le Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale – devenu aujourd'hui le Système CGIAR –, réseau mondial de centres de recherche agronomique, ont permis d'obtenir un rapport coûts-avantages égal ou supérieur à 10, soit bien plus que le rendement de la plupart des autres investissements (Alston *et al.*, 2022). Des gains économiques et des gains de productivité agricole considérables résultent à parts égales des avancées en matière de biophysique et d'ingénierie et des innovations institutionnelles et politiques qui stimulent l'accumulation de capital humain, naturel, matériel et social et atténuent les risques, les obstacles aux échanges et la concentration du pouvoir économique et politique entre les mains d'une poignée d'acteurs (Acemoglu, Johnson et Robinson, 2005).

Ces gains ont toutefois un coût de plus en plus élevé, comme le montrent les retombées négatives sur le climat, les milieux naturels, la santé publique, la nutrition et la justice sociale. Face aux conséquences indésirables d'une quête presque exclusive de croissance de la productivité agricole ainsi qu'aux questions de plus en plus nombreuses que soulève la durabilité des gains agronomiques et économiques si la situation reste inchangée, de plus en plus de voix s'élèvent pour demander l'accélération et la réorientation de la transformation des systèmes agroalimentaires. Dans le cadre d'une série de rapports et de réunions de haut niveau qui a abouti à la tenue, en 2021, du Sommet des Nations Unies sur les systèmes alimentaires, il a été demandé que l'on réponde aux besoins pressants des populations et de la planète en accélérant le passage à des systèmes agroalimentaires sains, équitables, résilients et durables (Groupe mondial d'experts sur l'agriculture et les systèmes alimentaires au service de la nutrition, 2016, 2020; Haddad *et al.*, 2016; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2019; Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques, 2019; Messerli *et al.*, 2019; Willett *et al.*, 2019; Herrero *et al.*, 2020; FAO, 2021, 2022; Groupe d'experts de haut niveau du Comité de la sécurité alimentaire mondiale, 2020; Barrett, 2021a; von Braun *et al.*, 2021; Barrett *et al.*, 2022a).

En tant qu'institution spécialisée du système des Nations Unies chargée de l'alimentation et de l'agriculture, la FAO s'est engagée, dans son Cadre stratégique 2022–2031, à soutenir le Programme de développement durable à l'horizon 2030 (Programme 2030) au moyen d'une transition vers des systèmes agroalimentaires *plus* efficaces, *plus* inclusifs, *plus* résilients et *plus* durables qui permettent d'apporter des *améliorations en*

matière de production, de nutrition, d'environnement et de conditions de vie, en ne laissant personne de côté (FAO, 2021). Les quatre améliorations reflètent les aspects interdépendants des systèmes agroalimentaires et les trois axes de la durabilité (économique, social et environnemental). Le terme «systèmes agroalimentaires» englobe tous les acteurs, ainsi que leurs activités interdépendantes d'ajout de valeur, qui participent à la production primaire de produits agricoles alimentaires et non alimentaires, ainsi qu'à l'entreposage, au groupage, à la manutention après récolte, au transport, à la transformation, à la distribution, à la vente et à la consommation de produits alimentaires, y compris ceux d'origine non agricole, et à l'élimination des déchets. Les systèmes agroalimentaires ont des répercussions sur un grand nombre de domaines, notamment sur chacun des objectifs de développement durable (ODD), que ce soit de façon directe ou indirecte (Herrero *et al.*, 2021).

Le développement et le déploiement stratégiques de la science, de la technologie et de l'innovation (STI) sont un facteur majeur dans la transformation des systèmes agroalimentaires et contribuent *in fine* au Programme 2030 et aux trois dimensions interconnectées de la durabilité (FAO, 2021). Les solutions qui existent déjà en matière de STI sont efficaces, mais elles ne sont pas pleinement exploitées car elles ne sont pas suffisamment adaptées, accessibles ou abordables. D'autres raisons font qu'il est difficile de les mettre pleinement au service des systèmes agroalimentaires: manque d'informations sur l'ensemble des innovations technologiques, sociales, réglementaires, financières et institutionnelles disponibles; manque d'investissement dans la recherche et dans les principaux intrants des STI; inadéquation technologique de nombreuses petites et moyennes entreprises (PME) agroalimentaires, dont les petits producteurs et les autres personnes et entreprises sous-financées; lacunes dans l'utilisation des données scientifiques et factuelles aux fins de la prise de décisions; manque d'informations permettant de hiérarchiser les politiques dans les pays à revenu faible ou intermédiaire (PRFI)⁵.

La FAO a conscience que les difficultés, les besoins et les capacités des pays en matière de STI varient, notamment en ce qui concerne les infrastructures, les niveaux d'éducation et les capacités techniques. Dans le même temps, il existe de grands défis communs aux niveaux national, régional et mondial. Relever ces défis nécessite les efforts coordonnés de tout un éventail d'acteurs, l'Organisation jouant un rôle clé dans la fourniture de biens publics mondiaux, de connaissances et d'orientations ainsi que dans la coordination et la cohérence des politiques. Dans ce contexte, la Stratégie de la FAO en matière de science et d'innovation (FAO, 2022) sera un outil essentiel à la mise en œuvre du Cadre stratégique 2022–2031 (FAO, 2021).

L'une des mesures coordonnées à prendre de toute urgence consiste à élargir et à actualiser le suivi et l'évaluation des STI. À l'heure actuelle, non seulement les niveaux et les modes d'utilisation des STI sont insuffisants pour faciliter la transformation indispensable des systèmes agroalimentaires, mais les données disponibles sur ces niveaux et modes ne sont pas non plus assez bien comprises pour que l'on puisse les gérer de façon à répondre aux multiples objectifs des futurs systèmes agroalimentaires – efficacité, inclusion, résilience et durabilité –, en particulier dans les PRFI. Étant donné que les effets des STI mettent généralement du temps à se manifester au niveau de la société, il faut agir immédiatement si l'on veut que leur réorientation fasse plus que renforcer les modes d'utilisation passés. Pour suivre les progrès accomplis dans la transformation des systèmes agroalimentaires, il faut donc suivre ce qui stimule cette transformation dans le domaine des STI. Toutefois, on ne dispose pas d'assez de données de qualité qui permettent d'assurer ce suivi ni d'analyses validées par la communauté scientifique sur les effets des STI au service des systèmes agroalimentaires, ou ces données ne sont pas suffisamment intégrées à l'ensemble du cycle de vie des solutions qui relèvent des STI. Les informations qui existent sont fragmentées, incomplètes et souvent difficiles à trouver dans un océan de données qui connaît une croissance rapide. Les données et analyses manquent particulièrement dans le cas des innovations qui ne sont pas issues de systèmes de recherche formels fondés sur l'ingénierie et les sciences naturelles,

5 D'après la liste des pays à revenu faible ou intermédiaire établie par la Banque mondiale, disponible à cette adresse (en anglais): <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups>.

comme les innovations sociales et institutionnelles et les innovations en matière de politiques, ainsi que les découvertes issues de connaissances autochtones ou d'expériences informelles faites par des agriculteurs, des entrepreneurs, des communautés, etc.

C'est pourquoi il est proposé de concevoir de nouveaux produits du savoir qui couvrent l'intégralité du cycle de vie des STI au service des systèmes agroalimentaires. La FAO a pour mission d'aider les pays à sélectionner, à expérimenter et à transposer à grande échelle des technologies et des innovations adaptées à leurs besoins et à leur situation, sachant que la tâche est rendue particulièrement difficile par les obstacles auxquels se heurtent les très nombreux petits producteurs dans le monde, notamment les femmes. Pour mieux s'acquitter de cette mission, l'Organisation met au point et lance une nouvelle série de produits intitulée *Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires* afin de mieux comprendre le degré d'adoption des technologies et innovations.

Plusieurs aspects de la série proposée méritent d'être évoqués plus avant. Premièrement, étant donné que les besoins, les priorités et les capacités en matière de STI varient considérablement d'un pays à l'autre, elle doit permettre d'assurer un suivi des avancées au niveau national. En outre, les PRFI doivent recevoir une attention particulière dans le cadre du suivi, car c'est là qu'il est le plus urgent de transformer les systèmes agroalimentaires. La hausse des revenus et la croissance démographique sont, avec l'urbanisation, les principaux facteurs qui favoriseront la croissance de la demande alimentaire. Au vu de la variation actuelle et attendue de ces taux entre les régions et compte tenu des niveaux initiaux de revenu de l'Asie et de l'Afrique subsaharienne, qui sont plus bas, la première devrait concentrer à court terme la majeure partie de la croissance de la demande alimentaire (Fukase et Martin, 2020) et la deuxième, à plus long terme, vers la fin du siècle, la moitié ou plus (Valin *et al.*, 2014; Barrett, 2021a; Barrett *et al.*, 2022a). Considérant que plus de 70 pour cent des aliments consommés proviennent de la production primaire du pays de consommation (d'Odorico *et al.*, 2014), la géographie de la croissance de la demande

alimentaire conduit nécessairement à une transformation de l'intégralité des systèmes agroalimentaires dans les pays à revenu faible ou intermédiaire, de la production primaire à la transformation et à la distribution dans l'environnement alimentaire des consommateurs finaux.

Une grande partie des STI au service des systèmes agroalimentaires naît dans les pays à revenu élevé et parvient jusqu'aux PRFI. Les pays du Groupe des Vingt (G20) représentent aujourd'hui quelque 90 pour cent des dépenses consacrées à la recherche, des publications et des brevets, et 80 pour cent des pays investissent moins de 1 pour cent de leur produit intérieur brut (PIB) dans la R-D, pour la plupart des PRFI (UNESCO, 2021). En outre, les innovations qui naissent dans les pays à revenu élevé, comme des normes applicables à la production des secteurs privé ou public et ayant une incidence sur le commerce, ou une opposition politique ou populaire à certaines nouvelles technologies dans ces pays, peuvent avoir des répercussions sur des marchés et des politiques qui revêtent une grande importance pour les PRFI, bien que les volumes de leurs échanges restent relativement faibles – la plupart du temps, il s'agit de moins d'un quart des aliments consommés à l'échelle mondiale (d'Odorico *et al.*, 2014). Les incidences transfrontalières des STI exigent que l'on s'intéresse aux pays selon une perspective mondiale, et pas seulement à l'aune des conditions nationales. Par conséquent, des perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires doivent à la fois mettre en avant des données nationales, en particulier sur les PRFI, où l'insuffisance des données est particulièrement grande (voir section 4), et toute donnée pertinente sur les avancées en matière de STI, quel que soit le pays concerné.

Deuxièmement, la FAO ne propose pas de rapport de situation dans lequel elle fait uniquement le point des données descriptives sur l'état des systèmes agroalimentaires. Il ne fait aucun doute qu'il est utile et même nécessaire d'évaluer par pays l'état des STI au service des systèmes agroalimentaires. Ces évaluations sont étonnamment complexes à réaliser en raison de l'insuffisance et de l'incohérence des données (voir section 8). Toutefois, les descriptions quantifiées

de l'état actuel des STI sont loin d'être suffisantes, car les transformations qui en découlent ne se manifestent qu'après une longue période. De leur conception à leur diffusion, en passant par leur mise à l'épreuve, les avancées des STI au service des systèmes agroalimentaires mettent généralement une décennie ou deux, voire plus, pour produire des effets mesurables à grande échelle (Alston et Pardey, 2021). S'ils veulent stimuler les facteurs d'accélération essentiels à la transposition à plus grande échelle d'avancées des STI qui produiront potentiellement des résultats concrets (Herrero *et al.*, 2020; Barrett *et al.*, 2022a), les décideurs doivent anticiper les changements à venir et planifier en conséquence.

Les Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires doivent donc aller au-delà de la curation des données, un service très utile actuellement assuré par FAOSTAT concernant les états observables des solutions STI matures, ou des investissements dans la R-D devant produire, à terme, des solutions STI abouties au service des systèmes agroalimentaires. Elles doivent compléter ces activités habituelles de recensement en élargissant la portée des données sur les solutions STI après la sortie de l'exploitation et sur les innovations financières, institutionnelles, sociales et réglementaires pour lesquelles il existe peu d'ensembles de données de qualité. Il est également essentiel d'élargir la portée des données pour réaliser un balayage d'horizon concernant les techniques pré-émergentes et émergentes et pour anticiper l'évolution incertaine des systèmes agroalimentaires et les voies d'impact que les différentes avancées en cours d'élaboration pourraient suivre.

Le balayage d'horizon et le travail de prospective sont indispensables car la complexité des interactions entre les systèmes humains et les systèmes naturels, ainsi que la nature très décentralisée et peu coordonnée de la prise de décisions dans des systèmes agroalimentaires interdépendants, créent de nombreuses possibilités d'avenir (Barrett *et al.*, 2021a, 2022a). Les approches fondées sur les prévisions et les scénarios aident les parties prenantes à étudier les voies qu'il est possible d'emprunter pour obtenir les résultats escomptés sans créer d'effets indésirables (O'Neill

et al., 2014; Fricko *et al.*, 2017; Barrett *et al.*, 2021a; Lentz, 2021; Zurek *et al.*, 2021). On s'attachera donc non seulement à rendre compte de contributions mesurables à la conception, au service des systèmes agroalimentaires, de solutions STI efficaces (section 5) – comme des investissements dans la R-D agricole – ou de la diffusion de celles qui sont déjà utilisées, mais aussi à recenser, à suivre et à évaluer les avancées pré-émergentes (section 6) et émergentes (section 7) qui sont encore plus difficiles à mesurer que les intrants des STI ou les solutions matures (section 8).

L'histoire a montré à maintes reprises que les êtres humains pouvaient radicalement modifier la trajectoire des systèmes agroalimentaires. Cependant, il ne peut y avoir de gestion sans suivi. Les informations qui orientent les mesures prises par les principaux acteurs publics et privés revêtent donc une grande importance. Les Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires visent à présenter des données de qualité qui éclaireront les décideurs.

Troisièmement, étant donné que des prévisions et une analyse des scénarios sont nécessaires au niveau national, mais qu'il faut également y associer des évaluations mondiales, la forte hétérogénéité des systèmes agroalimentaires entre les pays et à l'intérieur d'un même pays doit être explicitement prise en compte. Cette étape sera particulièrement nécessaire pour répondre aux besoins des petits producteurs, des femmes et des autres groupes marginalisés. L'intérêt que revêtent pour eux la science, la technologie et l'innovation est souvent négligé alors qu'ils représentent la majorité des parties prenantes des systèmes agroalimentaires, sachant qu'ils dépendent fortement des activités des filières agroalimentaires pour vivre et que l'alimentation constitue une part importante du budget des consommateurs pauvres. Les Perspectives doivent donc rendre compte du caractère approprié, de l'adaptation et de la diffusion prévisibles et mesurables – et parfois involontaires – des solutions STI en prenant en considération le contexte, et faire le point de la diversité des effets, des risques et des conséquences imprévues des solutions émergentes dans les systèmes agroalimentaires. Pour ce faire, il faut nécessairement accorder une

attention particulière aux questions réglementaires, éthiques, sociales et environnementales ainsi qu'aux questions de genre et de politique générale aux niveaux national, régional et mondial.

1.1 THÉORIE DU CHANGEMENT

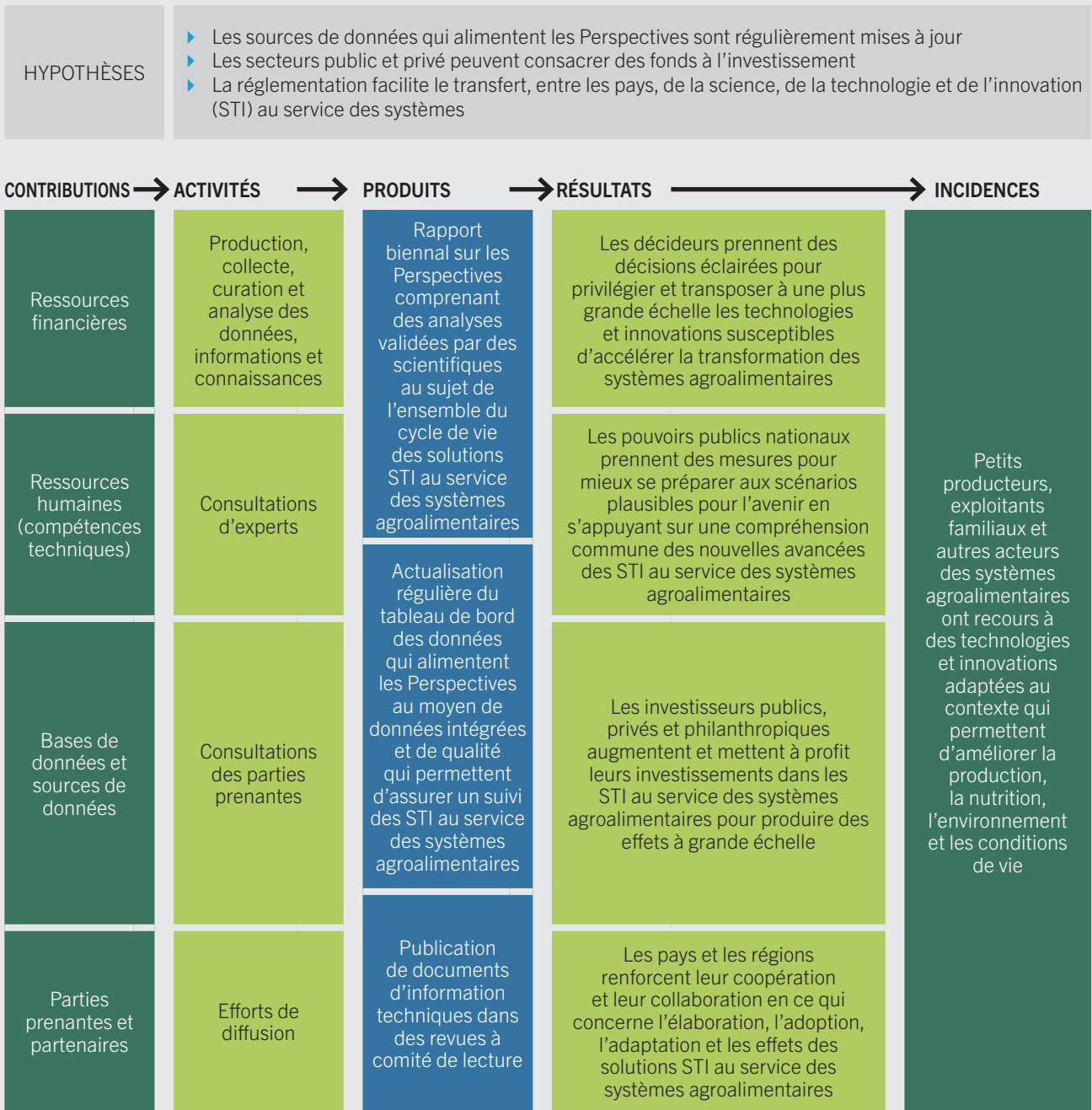
Les perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires sont pensées comme un instrument clé pour la concrétisation de la vision énoncée dans la Stratégie de la FAO en matière de science et d'innovation (FAO, 2022). L'objectif global est de fournir des informations sur l'état actuel et mesurable des STI et les changements probables à venir ainsi que sur leur potentiel de transformation afin d'éclairer les dialogues sur les politiques et la prise de décisions fondés sur des éléments factuels, notamment sur le front des investissements. Les Perspectives permettront de suivre l'évolution des STI au niveau national et mettront l'accent sur les PRFI, où les problèmes liés aux données sont particulièrement sérieux. Puisque les incidences transfrontalières de ce qui se fait dans le domaine des STI exigent que l'on s'intéresse à tous les pays selon une perspective mondiale, et pas seulement aux conditions nationales, toutes les données pertinentes sur les avancées en matière de STI, quel que soit le pays concerné, y seront abordées.

Pour prendre des décisions éclairées, il faut pouvoir compter sur des indicateurs tout au long du cycle de vie des solutions STI au service des systèmes agroalimentaires: investissements initiaux – dans la R-D, le personnel scientifique et les ressources matérielles (laboratoires, collections génétiques, plateformes pour agriculteurs et sur l'agriculture, comme les écoles pratiques d'agriculture ou les centres de proximité pour la science et la technologie) –, ajustement et adaptation des idées initiales, premiers essais, mise en route et diffusion à grande échelle de solutions matures, tout du moins dans certains endroits. Les Perspectives sur les technologies et l'innovation

dans le domaine des systèmes agroalimentaires seront pour les décideurs, les responsables de la recherche, les organisations donatrices, la société civile et le secteur privé une source régulière de données ouvertes, fiables et actualisées. Il s'agira notamment d'informations sur l'état, les orientations et les incidences des avancées des STI au service des systèmes agroalimentaires à différents stades d'évolution ainsi que sur les éventuels changements qui interviendront dans les modes d'utilisation aux niveaux mondial, régional et national, informations qui faciliteront le recensement des lacunes et des domaines négligés et la définition des priorités d'investissement. La série complétera le travail de curation de données par un balayage d'horizon concernant les avancées pré-émergentes et émergentes des STI en rapport avec les systèmes agroalimentaires, et en anticipant les voies d'impact que différentes solutions en cours d'élaboration pourraient suivre. Il contiendra également des synthèses des données concrètes disponibles sur les effets des STI. Ces analyses aideront à faire participer les parties prenantes à des débats constructifs qui permettront d'aboutir à une vision commune des STI au service des systèmes agroalimentaires et des futures orientations possibles.

Les Perspectives reposeront sur la coordination et la curation de données, de synthèses d'éléments factuels, d'avis d'experts et de recherches techniques examinées par des pairs aux fins de la création collective d'un ensemble de données facile à utiliser et d'analyses qui éclaireront davantage les parties prenantes qui cherchent à exploiter les STI pour accélérer la transformation des systèmes agroalimentaires. L'exercice servira également à encourager la coopération Sud-Sud et la coopération triangulaire en matière de STI. Au-delà de la valeur qu'apporteront les produits du savoir consacrés aux Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires, le processus de recherche nécessaire à leur élaboration et à leur mise à jour pourra également renforcer la collaboration entre les experts et les principales parties prenantes, ce qui aidera à faire connaître les questions relatives aux STI au service des systèmes agroalimentaires et à stimuler l'investissement et l'action en faveur de systèmes agroalimentaires plus efficaces, plus inclusifs, plus résilients et plus durables.

FIGURE 1 PERSPECTIVES SUR LES TECHNOLOGIES ET L'INNOVATION DANS LE DOMAINE DES SYSTÈMES AGROALIMENTAIRES: THÉORIE DU CHANGEMENT



La théorie du changement qui a été définie décrit la manière dont les Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires peuvent favoriser l'accélération de la transformation des systèmes agroalimentaires, en particulier dans les PRFI; aider les parties prenantes à surmonter les difficultés concernant la disponibilité, l'analyse, la visibilité et la coordination des données sur les STI ainsi que l'accès des experts à celles-ci; et déterminer quels résultats contribueront à cette transformation (voir [Figure 1](#)).

Les voies d'impact seront influencées par les mesures prises pour que le contenu du rapport périodique, les données régulièrement actualisées et les documents d'information techniques examinés par des spécialistes et élaborés dans le cadre de cette démarche – soit tous les produits qui favorisent le changement – soient accessibles et exploitables, et que les utilisateurs potentiels sachent s'en servir et en connaissent les avantages et les limites. Le travail de diffusion directe des données et des publications et les consultations de parties prenantes et d'experts offriront des occasions, assorties de dates butoirs, de traduire les produits susmentionnés en résultats, tandis que le tableau de bord de données sera une ressource numérique en ligne accessible sur demande aux parties prenantes.

Les Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires contribueront aux trois piliers de la Stratégie de la FAO en matière de science et d'innovation:

PILIER 1

Renforcer une prise de décisions fondées sur des données scientifiques et factuelles.

PILIER 2

Soutenir l'innovation et les technologies aux niveaux régional et national.

PILIER 3

Renforcer les capacités de la FAO de mieux servir ses Membres.

Les produits contribueront directement au pilier 1 puisqu'ils permettront d'améliorer la collecte et

la curation des données qui servent à la prise de décisions éclairées, les connaissances relatives aux nouvelles technologies et innovations ainsi que la collaboration avec les parties prenantes et les acteurs de l'écosystème d'innovation en rapport avec les systèmes agroalimentaires. Les activités contribueront aussi au pilier 2, car elles concourront de façon déterminante à la mise au point et à l'adoption de technologies et d'innovations au niveau national et à la multiplication des effets de synergie entre les régions grâce à l'apprentissage mutuel et à la coopération interrégionale sur des questions présentant un intérêt commun. Enfin, le processus contribuera au pilier 3 en facilitant la gestion des connaissances, les efforts de diffusion et les échanges avec les parties prenantes et les experts afin de créer et renforcer des réseaux de collaboration entre les principaux acteurs des systèmes agroalimentaires et entre eux et le grand public.

Si l'on veut obtenir ces résultats et produire ces effets, il faudra réaliser d'importants efforts et investissements complémentaires au-delà du cadre de la démarche proposée. De nombreux facteurs (ou «hypothèses», selon la théorie du changement) devront être réunis pour que la collecte de données contribue aux résultats ciblés et aux effets souhaités. Ces facteurs peuvent être internes, comme c'est le cas des sources de données qui alimentent l'élaboration des produits et qui sont entretenues et mises à jour régulièrement, ou externes, comme la disponibilité de fonds publics et privés à des fins d'investissement et l'existence d'un cadre réglementaire qui facilite le transfert des solutions STI au service des systèmes agroalimentaires entre les pays. L'intervention de ces facteurs rendrait l'innovation possible à différents niveaux (régional, national, infranational, etc.). La théorie du changement repose également sur l'idée que les décideurs examineront attentivement les données concrètes rassemblées et produites dans le cadre du processus et agiront sur la base de celles-ci.

Pourquoi la FAO devrait-elle donc investir dans la publication régulière de produits consacrés aux perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires? Car elle est investie, en sa qualité d'institution spécialisée des Nations Unies à la tête de la lutte mondiale contre

la faim, d'une responsabilité particulière, celle de mettre au point et d'intégrer des sources de données et de réaliser des analyses de ces données pour aider à informer les décideurs publics et privés, et parce qu'elle jouit d'un pouvoir mobilisateur sans égal à cet effet. Les systèmes agroalimentaires que nous connaissons vont incontestablement se transformer, mais le rythme, l'orientation et les incidences de cette transformation peuvent et doivent être influencés par des éléments concrets et exploitables. À l'heure actuelle, nous n'avons pas assez de données de

qualité suffisamment intégrées et d'analyses validées par des scientifiques couvrant tout le cycle de vie des solutions STI au service des systèmes agroalimentaires pour encourager un dialogue constructif sur les politiques et pour mobiliser les investissements supplémentaires requis de toute urgence dans ces solutions, en particulier en faveur des PRFI. Les Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires pourrait faire évoluer la situation dans ce sens.



SÉNÉGAL

Des femmes et des hommes de la communauté travaillent dans une pépinière créée dans le village dans le cadre de l'initiative Grande muraille verte.

CHAPITRE 2

PORTÉE DES PERSPECTIVES ET DES STI AU SERVICE DE LA TRANSFORMATION DES SYSTÈMES AGROALIMENTAIRES

Des Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires ne pouvant être universelles dans leur portée, cette dernière doit être judicieusement délimitée. On recense à cet égard trois éléments clés.

Premièrement, il est nécessaire de resserrer la focale sur les systèmes agroalimentaires. Il existe déjà des produits faisant autorité qui examinent l'état général de la science, de la technologie et de l'innovation dans l'ensemble des pays, à savoir notamment les Perspectives de l'OCDE sur la science, la technologie et l'innovation (Organisation de coopération et de développements économiques [OCDE], non daté), habituellement publiées tous les deux ans, le Rapport sur la technologie et l'innovation de la CNUCED, qui paraît tous les trois ans (CNUCED, non daté), le Rapport de l'UNESCO sur la science, habituellement publié tous les cinq ans (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture [UNESCO], non daté), et l'Indice mondial de l'innovation annuel de l'OMPI (Organisation mondiale de la propriété intellectuelle [OMPI], non daté). Toutefois, comme les mandats des organisations à l'origine de ces publications couvrent l'ensemble de la société, il est rare que celles-ci portent tout particulièrement sur les systèmes agroalimentaires (voir l'Encadré A). Si ces rapports sont assurément pertinents étant donné que les STI au service des systèmes agroalimentaires émanent souvent d'autres secteurs (Moser, 2021), il n'en reste pas moins que les systèmes agroalimentaires occupent une place centrale et interviennent à grande échelle dans la concrétisation des ODD et des objectifs sociétaux à plus long terme. Il serait donc utile de publier régulièrement des Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires qui s'intéresseraient plus précisément aux solutions STI conçues

spécialement pour exploiter les possibilités et résoudre les difficultés propres aux systèmes agroalimentaires, en particulier dans les PRFI, dont l'économie est fortement tributaire de ces systèmes.

Pour que le travail soit suffisamment ciblé, il est proposé de n'inclure une nouvelle technologie ou innovation que si son adaptation ou son association aux systèmes agroalimentaires est évoquée dans des publications scientifiques et professionnelles, même si ce n'est qu'à titre hypothétique. Par exemple, si les Perspectives avaient existé dans les années 1970, elles n'auraient pas couvert les technologies spatiales et secrètes de radionavigation que l'armée des États-Unis d'Amérique était la seule à employer avant que le gouvernement ne rende publiques ces technologies GPS (pour Global Positioning System ou géopositionnement par satellite) à des fins d'exploitation commerciale⁶. En revanche, les machines agricoles de précision et les technologies de gestion de réseau numérique auraient été prises en compte dès leur première mention dans les publications scientifiques et professionnelles (y compris dans des articles évoquant de possibles nouvelles utilisations des systèmes GPS ou dans des dossiers de dépôt de brevets et des bases de données sur les investissements en capital-risque), avant que les entreprises de matériel agricole et de distribution de denrées alimentaires ne commencent à s'en servir activement et librement. L'idée serait ensuite de suivre l'émergence de ces technologies, leur adaptation – par exemple le développement d'applications de livraison de nourriture destinées aux consommateurs – et leur diffusion à mesure qu'elles gagneraient en maturité. L'élaboration des Perspectives

6 Voir Roblin (2017), qui offre un compte rendu succinct et passionnant de la façon dont la perte tragique du vol 007 de Korea Airlines en 1983 a contribué à accélérer la diffusion des technologies GPS à des fins d'adaptation commerciale à grande échelle dans le monde entier.

implique d'effectuer régulièrement un balayage d'horizon des solutions STI afin de repérer celles qui commencent à être intégrées utilement aux systèmes agroalimentaires.

Deuxièmement, des Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires ne doivent pas se limiter aux sciences naturelles et à l'ingénierie mais englober les solutions STI fondées sur des données scientifiques de portée sociale et économique ayant un intérêt pour l'élaboration de politiques et pour les institutions. Toute référence aux STI dans le présent rapport repose sur cette définition élargie. La transformation des systèmes agroalimentaires est une entreprise transdisciplinaire par nature. Les difficultés propres aux systèmes agroalimentaires et les possibilités qu'ils offrent sont d'origine anthropique en ce qu'elles découlent directement des comportements humains en matière de consommation, d'échanges et de production ainsi que d'un ensemble de valeurs et de perceptions. Les comportements humains sont façonnés non seulement par les processus naturels ou les progrès de l'ingénierie, mais aussi par la culture, les institutions et les politiques – que ces comportements façonnent à leur tour –, qui créent des contraintes sociopolitiques et des incitations culturelles ou économiques favorisant ou décourageant certaines actions. Ainsi, la difficulté majeure que pose la transformation des systèmes agroalimentaires est qu'elle nécessite une action décentralisée de la part de milliards d'acteurs. Si les pouvoirs publics et les entreprises privées peuvent influencer sur les comportements, ils ne peuvent pas les contrôler. Les interventions visant à modifier les politiques, les institutions et la culture figurent parmi les principaux outils qu'utilisent les dirigeants pour influencer les comportements.

Des Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires doivent donc rendre compte non seulement des nouvelles technologies fondées sur l'ingénierie et les sciences naturelles, mais également d'un large éventail d'innovations sociales, politiques, institutionnelles, financières et culturelles porteuses de changement. Toutefois, il ne s'agit en aucun cas de remettre en question l'importance cruciale des avancées dans les

domaines de l'agroécologie, de la biochimie, du numérique, de la mécanique et d'autres domaines relevant des sciences naturelles et de l'ingénierie. Il s'agit plutôt de reconnaître que leur succès dépend de la mise en place d'innovations complémentaires à l'échelle des institutions, des marchés ou des politiques permettant de faciliter leur diffusion (Barrett *et al.*, 2022a). Étant donné que la transformation des systèmes agroalimentaires fait intervenir un très large éventail d'activités et d'organisations humaines, ces innovations sociales doivent être suivies et étudiées – voire promues, dans le cas de celles dont il a été établi qu'elles concourraient réellement à la réalisation des grands objectifs en matière de transformation des systèmes agroalimentaires – au même titre que les solutions STI fondées sur l'ingénierie et les sciences naturelles, pour lesquelles un tel suivi est plus habituel. Malheureusement, les systèmes de collecte de données sur les STI au service des systèmes agroalimentaires se sont traditionnellement concentrés sur des indicateurs scientifiques et financiers mesurables et la collecte systématique de données sur les institutions ou les politiques est restée rare, comme on le verra dans d'autres chapitres du présent document. Les Perspectives peuvent contribuer à attirer davantage l'attention sur ce sujet et à assurer une collecte systématique de données de grande qualité qui permettrait de combler cette importante lacune.

Troisièmement, les Perspectives doivent s'intéresser aux systèmes agroalimentaires dans leur intégralité, des intrants à la production primaire en passant par les environnements dans lesquels les consommateurs font leurs choix alimentaires. Pendant de nombreuses décennies, on a considéré que l'une des principales missions des systèmes agroalimentaires était de produire suffisamment d'aliments sains pour répondre aux besoins croissants d'une population humaine de plus en plus nombreuse malgré des ressources naturelles limitées. La conséquence naturelle de cette approche axée sur l'offre a été la priorité donnée au suivi des intrants et des produits de l'agriculture, de la pêche et des forêts et à l'accroissement de la productivité. Il s'agit là de tâches indiscutablement importantes et nécessaires, mais elles ne suffisent pas.

Science, technologie et innovation: perspectives de l'OCDE

- 2021** Affronter la crise et saisir les opportunités.
- 2018** S'adapter aux bouleversements technologiques et sociétaux.
- 2016** Analyse comparative des nouvelles politiques et instruments utilisés afin de renforcer la contribution de la science et de l'innovation à la croissance et aux mesures prises face aux défis mondiaux et sociaux.
- 2014** Principales tendances en matière de politiques et de performances de l'innovation.
- 2012** Le rôle moteur que la science, la technologie et l'innovation devraient continuer de jouer en faveur d'une reprise saine et durable après la crise économique face aux grandes tendances de cette dernière.
- 2010** Performances en matière de science et d'innovation, évolutions des politiques nationales de la science, de la technologie et de l'innovation et conception et évaluation des politiques d'innovation, y compris les interactions des différentes mesures et leur dosage.
- 2008** Performances en science et innovation, tendances des politiques nationales de la science, de la technologie et de l'innovation et pratiques pour évaluer les impacts socioéconomiques de la recherche publique.
- 2006** Rôle des droits de propriété intellectuelle et des marchés de vente de licences technologiques dans les performances en matière d'innovation, politiques destinées à accroître les retombées de la mondialisation de la R-D réalisée par les entreprises, ressources humaines en science et technologie, et évaluation de la politique d'innovation.
- 2004** Importance des partenariats public-privé pour stimuler l'innovation, efforts visant à encourager l'innovation dans le tertiaire, grands enjeux mondiaux liés à l'offre de ressources humaines en science et technologie, et contribution des entreprises multinationales à la croissance de la productivité et à l'innovation.
- 2002** Évolution des stratégies des entreprises en matière de R-D, concurrence et coopération dans le processus d'innovation, réforme des systèmes scientifiques nationaux, utilisation stratégique des droits de propriété intellectuelle dans les établissements publics de recherche, internationalisation de l'industrie et mobilité internationale des scientifiques et ingénieurs.

Rapport de la CNUCED sur la technologie et l'innovation

- 2021** Prendre les vagues technologiques. Concilier innovation et équité.
- 2018** Harnessing Frontier Technologies For Sustainable Development (Les technologies de pointe au service du développement durable).

- 2015** Promouvoir les politiques de l'innovation pour assurer le développement industriel.
- 2012** Innovation, technologie et collaboration Sud-Sud.
- 2011** Le rôle important que jouent les technologies des énergies renouvelables face au double défi de la réduction de la pauvreté énergétique et de l'atténuation du changement climatique.
- 2010** L'amélioration des résultats de l'activité agricole en Afrique et la contribution de la technologie et de l'innovation à l'élévation de la production agricole et des revenus de tous les agriculteurs, y compris les petits paysans.

Rapport de l'UNESCO sur la science

- 2021** Une course contre la montre pour un développement plus intelligent: transition vers une société numérique et «verte».
- 2015** Vers 2030: stratégie de croissance efficace, tendances en matière d'innovation et de mobilité.
- 2010** L'état actuel de la science dans le monde: le rôle croissant de la technologie dans l'économie mondiale.
- 2005** Vers les sociétés du savoir: universités, personnel du secteur des technologies et apports de la R-D.
- 1998** Mondialisation de la science et de la technologie: comment la science et la technologie permettent de préserver les ressources alimentaires et hydriques face aux pressions démographiques et environnementales.
- 1996** Défis liés à la place des femmes dans la science et la technologie.
- 1993** État de la science dans le monde, systèmes de science et technologie et coopération.

Indice mondial de l'innovation de l'OMPI

- 2021** Impact de la pandémie de covid-19 sur l'innovation.
- 2020** Qui financera l'innovation?
- 2019** La création d'un mode de vie sain – avenir de l'innovation médicale.
- 2018** L'innovation, source d'énergie pour le monde entier (innovation dans le domaine de l'énergie).
- 2017** L'innovation pour nourrir le monde (agriculture).
- 2016** Le succès grâce à l'innovation mondiale (coopération et investissements mondiaux).
- 2015** Politiques d'innovation efficaces aux fins du développement.
- 2014** Le facteur humain dans l'innovation (économie fondée sur le savoir).
- 2013** Dynamique de l'innovation au niveau local.
- 2012** Renforcement des liens dans le processus d'innovation pour la croissance mondiale.
- 2011** Accélérer la croissance et le développement (mesure de l'innovation et durabilité).

Des Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires ne peuvent se limiter à la production des exploitations pour la simple raison que plus de 70 pour cent de la valeur ajoutée reflétée dans les dépenses alimentaires des consommateurs à l'échelle mondiale résulte d'opérations postexploitation (Yi *et al.*, 2021). En outre, la recherche obstinée d'une efficacité toujours plus grande a eu des conséquences prévisibles, bien qu'involontaires, sur la santé environnementale et humaine, la résilience face aux chocs et les conditions de travail, aussi bien dans les secteurs primaires – agriculture, pêche et forêts – qu'au niveau de la transformation, de la fabrication et de la distribution (Herrero *et al.*, 2021).

La collecte de données de qualité et complètes sur la production des exploitations s'est révélée ardue, et l'élargissement de cette collecte à l'intégralité de la chaîne de valeur promet d'être considérablement plus difficile. Le nombre de domaines couverts sera nécessairement faible au début et augmentera progressivement. Mais l'une des plus grandes contributions des Perspectives pourrait être d'élargir le champ de vision des décideurs en matière de transformation des systèmes agroalimentaires pour tenir compte de l'ensemble de la chaîne de valeur, des intrants aux environnements alimentaires dans lesquels les consommateurs font leurs choix en passant par la production primaire – y compris la production alimentaire non agricole, autrement dit hors exploitation (viande de laboratoire, agriculture verticale, etc.), la transformation et le conditionnement, la fabrication et la distribution (y compris la restauration). L'un des principaux enseignements tirés des recherches récentes sur les pertes et le gaspillage alimentaires, par exemple,

est que l'on ne peut comprendre et résoudre les difficultés liées aux systèmes agroalimentaires qu'en adoptant une approche globale (Cattaneo *et al.*, 2021; Hamilton *et al.*, 2022; Van Zanten *et al.*, 2019).

Les Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires s'appuieraient donc sur les sources existantes tout en s'en distinguant. Comparé aux produits relatifs aux STI que diffusent déjà certaines organisations multilatérales, tels que ceux de l'OCDE, de l'OMPI ou de l'UNESCO, celui-ci, davantage axé sur les systèmes agroalimentaires, présenterait de façon bien plus détaillée les STI au service de ces systèmes ainsi que leurs impacts. Par rapport aux publications et bases de données existantes de la FAO, les Perspectives contribueraient aussi à la mobilisation et à la coordination d'investissements visant à combler les déficits de données clés relatives à la chaîne de valeur reliant les producteurs primaires aux consommateurs finaux, traiteraient d'un éventail plus large de politiques et d'institutions qui sont au cœur de la transformation des systèmes agroalimentaires, et élargiraient le champ du balayage d'horizon et du travail d'analyse prospective. Pour cela, l'approche la plus efficace serait probablement la création d'un consortium associant d'autres grandes organisations qui possèdent des compétences avérées dans un ou plusieurs domaines pertinents (voir le chapitre 11). Il s'agit là d'un travail de grande envergure, aussi sera-t-il essentiel de délimiter clairement les domaines couverts afin que le produit apporte une valeur ajoutée, améliore la coopération et la coordination sur des questions stratégiques et procure des données et des analyses adaptées aux objectifs visés.



ITALIE

Chevaux broutant sous des éoliennes, sur une colline d'un parc éolien de Frosolone.

CHAPITRE 3

DYNAMIQUES DU DÉVELOPPEMENT ET DE LA DIFFUSION DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE L'INNOVATION AU SERVICE DES SYSTÈMES AGROALIMENTAIRES

Dans tous les secteurs, le processus de développement et de diffusion des technologies est caractérisé par un schéma dynamique classique. Les Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires ont pour but d'éclairer la prise de décisions dans les secteurs privé et public à toutes les étapes du cycle de vie des solutions STI au service des systèmes agroalimentaires. Il s'agit donc de recueillir des données et de les analyser à quatre différents stades du développement et de la diffusion des solutions STI qui, ensemble, s'étendent sur plusieurs années voire, souvent, des décennies. La première étape est celle des i) intrants des STI au service des systèmes agroalimentaires (investissements financiers dans la R-D et capital humain, physique et social, par exemple), qui génèrent ii) des solutions STI pré-émergentes – c'est-à-dire qui sont en cours de développement mais ne sont pas encore utilisées en dehors de la communauté des concepteurs –, dont certaines gagnent du terrain et deviennent iii) des solutions STI émergentes, dont on constate l'utilisation en dehors du cercle des chercheurs, pour enfin arriver à l'état de iv) solutions STI matures, avant de basculer, bien souvent, dans l'obsolescence.

Avant toute chose, la création de connaissances ne se fait pas en vase clos. En réalité, la connaissance engendre la connaissance, dans la mesure où l'innovation est fondamentalement combinatoire. Les grandes inventions et les innovations qui ont eu un impact important sont toujours nées de la combinaison délibérée de différentes découvertes antérieures et avaient pour but explicite de répondre à un nouvel impératif humain (Usher, 1929; Weitzman, 1998; Arthur, 2009; Feinstein, 2011). De même, les innovations institutionnelles sont essentielles pour réduire le coût des transactions lors des échanges ainsi que

les risques liés aux dépenses d'investissements et à l'innovation (North, 1991, 2008; Platteau, 1994a, b; Barrett, 1997).

Par conséquent, une innovation porteuse de transformation exige des connaissances et des outils préexistants et la participation de scientifiques, d'ingénieurs, d'agriculteurs, de producteurs, de chefs d'entreprise, d'entrepreneurs sociaux et d'autres acteurs des systèmes agroalimentaires capables de combiner et de recombinaison des idées et des outils préexistants, ainsi que l'investissement de nouvelles ressources nécessaires pour entreprendre les activités (fonds pour la R-D, laboratoires, sites d'expérimentation, ordinateurs, terres agricoles, etc.). Cette phase initiale de création d'idées (recherche fondamentale) ainsi que la recherche appliquée et adaptative qui en découle sont aussi influencées par les institutions et les politiques (régimes de droits de propriété intellectuelle, protocoles de biosécurité, normes culturelles en matière de créativité et d'expérimentation, garanties institutionnelles relatives à l'éthique en matière de recherche, par exemple) qui déterminent l'efficacité avec laquelle les apports financiers et matériels se convertissent en nouvelles découvertes utiles. L'ensemble de ces ressources financières, humaines, institutionnelles et matérielles représente les intrants nécessaires à la production dans le domaine des STI. Les solutions STI ne peuvent voir le jour sans ces intrants essentiels que l'on trouve dans les laboratoires universitaires, dans les champs des agriculteurs en quête d'innovation, dans les garages des entrepreneurs et dans les cuisines des chefs créatifs. Si l'essentiel du recensement des intrants des STI se fait dans les systèmes de recherche formels intégrés aux programmes nationaux de R-D axés sur les systèmes agroalimentaires, et assimilés, le capital humain et naturel indispensable à

l'expérimentation existe également dans les espaces informels. Après tout, c'est ainsi que les êtres humains ont commencé à domestiquer des plantes et des animaux sauvages il y a des milliers d'années et qu'ils continuent de le faire de manière quasi expérimentale depuis lors.

Dans le processus de développement et de diffusion des solutions STI, la deuxième étape est celle de la formation, de la recombinaison et de l'affinement des idées que rend possible l'investissement dans les intrants. Cette deuxième étape correspond à la période où l'on assiste à des avancées scientifiques dans les domaines de la recherche fondamentale et appliquée. Des chercheurs, des agriculteurs, des producteurs, des analystes politiques et des entrepreneurs mettent au point de nouvelles idées, de nouveaux outils et de nouvelles méthodes, évaluent de nouvelles hypothèses et réalisent des travaux de conception fondamentale et de fabrication de prototypes, entre autres, dans le but de développer un produit ou un processus qu'il serait intéressant de proposer et de mettre à l'essai en conditions réelles. Les scientifiques, les gestionnaires et les innovateurs actifs dans la R-D formelle ou informelle ne cessent d'adapter, de combiner et d'affiner de nouvelles solutions STI pré-émergentes avant leur première diffusion (commerciale ou non commerciale) auprès du public. Là encore, de nombreuses activités se déroulent en dehors des systèmes de recherche formels et passent souvent inaperçues jusqu'à ce qu'une nouvelle solution STI émerge et commence à se répandre de manière organique, car le changement qui s'opère dans le domaine des systèmes agroalimentaires est à la fois social et technique⁷.

C'est à ce stade qu'il est essentiel de faire un balayage d'horizon pour repérer les nouvelles solutions qui pourraient, à terme, avoir un impact sur les systèmes agroalimentaires avant qu'elles ne commencent à faire l'objet d'applications pratiques. Cette période de pré-émergence est sans doute l'étape la plus difficile à surveiller, car

7 Le système de la riziculture intensive (SRI) en est un bon exemple. Le SRI est né d'une expérimentation menée au sein des communautés de petits exploitants agricoles à Madagascar dans les années 1980. Il s'est répandu après que ses premiers concepteurs ont créé une organisation non gouvernementale locale, l'Association Tefy Saina, pour transmettre cette série de pratiques novatrices à d'autres agriculteurs. Le SRI existe aujourd'hui dans plus de 50 pays à travers le monde (Stoop *et al.*, 2002; Glover, 2011; Barrett *et al.*, 2022b).

il faut se tenir au fait des idées avant qu'elles ne se transforment en nouveaux produits ou processus utilisés en conditions réelles. Il s'agit toutefois également d'une étape clé au cours de laquelle les responsables politiques peuvent exercer une influence considérable sur l'accélération (ou le ralentissement) de l'apparition des innovations par différents moyens institutionnels et politiques (Herrero *et al.*, 2020). Ils doivent par ailleurs anticiper les conséquences (positives ou négatives) prévisibles, bien que non intentionnelles, des avancées en matière de STI, car les répercussions se font sentir partout. Il est donc nécessaire d'assurer un suivi rigoureux en portant une attention particulière aux compromis et aux synergies (Herrero *et al.*, 2021).

Cette deuxième étape s'étend généralement sur de nombreuses années. Il faut compter plusieurs années, voire des décennies, avant que les intrants des STI, tels que les investissements dans la R-D au service des systèmes agroalimentaires, ne donnent lieu à des solutions STI émergentes qui produisent des effets mesurables à grande échelle (Chavas *et al.*, 1997; Ahmadpoor et Jones, 2017; Alston et Pardey, 2021)⁸. Étant donné la nécessité urgente de lutter contre le changement climatique, en particulier, et la disparité des progrès accomplis dans la réalisation du Programme 2030, les avancées doivent se faire plus rapidement, ce qui veut dire qu'il faut renforcer le suivi et la gestion du cycle de vie complet des solutions STI par rapport à ce qui se faisait jusqu'à présent, surtout dans le domaine des systèmes agroalimentaires.

La troisième étape est la période d'émergence, lorsqu'une innovation quitte son cadre d'origine – bien souvent, mais pas systématiquement, un centre de recherche, un laboratoire ou une revue universitaire – pour être utilisée librement, dans des conditions réelles, par des acteurs qui n'ont pas participé à son élaboration. La mise en circulation initiale de nouvelles solutions STI à partir de systèmes de recherche formels passe par des essais pilotes réalisés sur des sites sélectionnés

8 Les délais estimés dépendent du domaine dans lequel les découvertes sont effectuées: les sciences fondamentales, telles que les mathématiques, donnent des résultats dans des délais plus longs que les sciences appliquées, telles que l'informatique (Ahmadpoor et Jones, 2017); les investissements privés dans la R-D génèrent des avantages plus importants à plus court terme (entre 5 et 15 ans), tandis que la R-D publique produit davantage d'effets positifs à plus long terme (entre 15 et 25 ans) (Chavas *et al.*, 1997).

avec soin et destinés à évaluer le concept ainsi qu'à générer de premières données qui seront utilisées dans le cadre de travaux de recherche adaptative visant à perfectionner le produit ou le processus. Les nouvelles solutions STI font l'objet d'un suivi et d'une évaluation lorsqu'elles sont introduites dans les systèmes agroalimentaires. Mais elles peuvent également commencer à se propager ou s'adapter spontanément au sein des populations qui y sont exposées pour la première fois, ce qui permet d'acquérir de nouvelles connaissances à leur sujet. Cette période est cruciale, car c'est à ce moment-là que les nouvelles innovations gagnent en popularité et commencent à être diffusées et utilisées à grande échelle avant de disparaître progressivement et de finir dans les archives et les bibliothèques, ou qu'elles demeurent dans les limbes de la faisabilité technique sans être adoptées à grande échelle jusqu'à ce qu'une évolution les rende plus attrayantes qu'elles ne l'étaient au moment de leur introduction initiale (Rogers, 1962). Les mesures d'incitation et les contraintes découlant des politiques, des institutions et des marchés déterminent en grande partie si une avancée en matière de STI arrivera à maturation ou piétinera dès la phase préliminaire. Les institutions et les politiques qui facilitent le regroupement des nouvelles solutions STI et des innovations complémentaires peuvent jouer un rôle particulièrement important, car pratiquement aucune nouvelle solution ne se développe par elle-même; elles doivent toutes être associées à d'autres innovations (Barrett *et al.*, 2022a).

Certaines solutions STI émergentes s'adaptent et se diffusent suffisamment pour parvenir à maturité (stade quatre), c'est-à-dire qu'elles sont largement adoptées et évoluent de manière moins radicale et moins fréquente à mesure qu'elles se propagent. Les gains découlant de la production ou de l'utilisation d'une nouvelle solution STI dépendent généralement de l'échelle de diffusion, notamment en raison des effets de réseau⁹. Les solutions STI qui génèrent des gains importants peuvent nécessiter une promotion pour l'emporter sur les avantages intrinsèques des solutions STI existantes (Katz

et Shapiro, 1986). En définitive, de nombreuses technologies matures, y compris celles qui deviennent (temporairement) dominantes, perdent du terrain, voire deviennent obsolètes, à mesure que de nouvelles technologies les remplacent ou que l'évolution des systèmes agroalimentaires les rend moins efficaces ou attrayantes (comme dans le cas de certains traitements médicaux ou du transport et du labour à cheval).

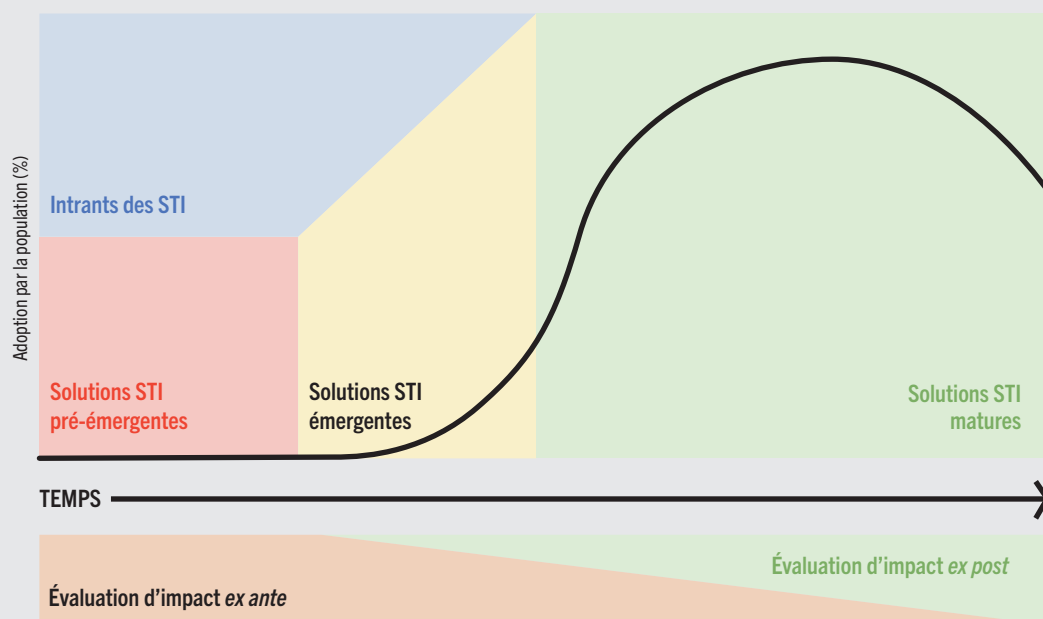
Les courbes de diffusion obtenues débutent généralement lentement avant de croître de plus en plus vite tandis que les utilisateurs découvrent et expérimentent rapidement une nouvelle technologie. Le taux d'adoption ralentit ensuite lorsque la solution atteint son niveau d'utilisation maximal dans le domaine d'application, ce qui donne une courbe de propagation en S. On observe souvent ce phénomène dans les études portant sur la diffusion d'un large éventail de solutions STI, dans les systèmes agroalimentaires et d'autres secteurs de la société.

Il convient de noter que les courbes de diffusion aux niveaux national ou mondial reflètent nécessairement des modèles globaux et peuvent masquer une forte hétérogénéité entre des unités d'analyse plus réduites. Une solution peut avoir atteint un niveau de maturité assez élevé dans certains systèmes agroalimentaires tout en étant encore émergente, voire pré-émergente, dans d'autres. Une certaine variation spatiale au niveau de l'adoption peut apparaître du fait de conditions structurelles qui font qu'une solution donnée se prête mieux à certains espaces qu'à d'autres, de sorte qu'une adoption constante présentera des variations considérables. La variation spatiale peut cependant être également attribuable à des effets de diffusion séquentiels transfrontières (Aghion et Jaravel, 2015; Mason-D'Croz *et al.*, 2019). Dans la mesure où les données permettent d'effectuer une analyse ventilée, les Perspectives peuvent étudier les variations observées au niveau de la diffusion entre différents écosystèmes agricoles, marchés ou contextes régionaux.

L'une des principales caractéristiques du stade d'émergence d'une solution STI réside dans le fait que son utilisation n'est pas encore suffisamment généralisée pour qu'une organisation ait commencé à suivre son adoption de manière

⁹ Les effets de réseau sont observés lorsque l'évaluation d'un bien ou d'un service par un utilisateur dépend du nombre de personnes qui utilisent le même produit (ou un produit compatible). Contrairement aux effets plus connus de la technologie (comme la pollution) qui découlent de l'offre, les effets de réseau sont le résultat de phénomènes liés à la demande.

FIGURE 2 DYNAMIQUES DU DÉVELOPPEMENT ET DE LA DIFFUSION DES SOLUTIONS ISSUES DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE L'INNOVATION, CATÉGORIES DE DONNÉES ET MÉTHODES D'ÉVALUATION DE L'IMPACT



systématique et reproductible et à diffuser largement les données correspondantes. Les particuliers et les organisations entendent de plus en plus parler de cette innovation émergente, mais ont généralement du mal à évaluer l'étendue ou le rythme de son adoption. L'émergence est une étape entourée d'incertitude.

À un certain moment, cependant, la solution arrive à maturité et atteint une quatrième étape où elle s'est suffisamment développée et où le taux d'adaptation ralentit, de telle sorte que l'on commence à évaluer régulièrement sa portée grandissante. Il est forcément difficile de définir précisément la limite entre l'émergence (stade trois) et la maturité (stade quatre). Certaines solutions STI matures ne font pas l'objet d'évaluations systématiques dans tous les pays. Toutefois, pratiquement toutes les avancées en matière de STI relatives aux systèmes agroalimentaires dont on assure un suivi systématique sont arrivées à maturité. Dans certains cas, la maturité mène à l'obsolescence. Ce phénomène se produit lorsqu'une nouvelle technologie supérieure vient

supplanter la ou les versions précédentes, comme cela a été le cas avec l'utilisation des chevaux pour la traction et le transport. L'obsolescence survient également du fait de pressions liées à l'évolution, comme, par exemple, lorsque les agents pathogènes, les parasites et les mauvaises herbes s'adaptent et que les effets d'herbicides, de pesticides ou de variétés de semences autrefois productifs diminuent.

Prises ensemble, ces quatre étapes correspondent à différents besoins en matière de données, comme le montrent les sections suivantes et la Figure 2. Les dynamiques de l'élaboration et de la diffusion des solutions STI font apparaître quatre catégories de données distinctes – relatives aux intrants des STI, aux solutions STI pré-émergentes, aux solutions STI émergentes, et aux solutions STI matures – qui ne sont pas toutes disponibles à l'heure actuelle. Il existe des données sur les intrants des STI, notamment les financements publics, privés et philanthropiques de la R-D, le personnel et les infrastructures scientifiques et les plateformes d'expérimentation en milieu paysan (telles que

les écoles pratiques d'agriculture et les *Science and Technology Backyard* [science et technologie en milieu rural]), par exemple, mais elles présentent d'importantes lacunes, comme il est indiqué à la section 5. Les données concernant les solutions STI matures sont relativement plus abondantes mais se limitent essentiellement à la production primaire dans les systèmes agroalimentaires, avec une couverture beaucoup moins complète, moins fiable et moins opportune à la sortie de l'exploitation, comme on le verra à la section 8. Enfin, il n'existe pratiquement pas de données sur les solutions STI pré-émergentes et émergentes, chacune de ces catégories nécessitant des méthodes différentes pour la collecte et le traitement des données (voir sections 6 et 7). L'intégration de ces sources de données et des analyses qui s'y rapportent sera à la fois le grand défi à relever dans l'élaboration des Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires ainsi que leur principale valeur ajoutée, sachant que, conformément à la théorie du changement énoncée plus haut, l'idée est de créer un produit qui contribue à mobiliser des investissements en amont dans la R-D en matière de STI au service des systèmes agroalimentaires et, parallèlement, à stimuler la diffusion et l'adaptation des solutions créées, en particulier dans les PRFI.

La transformation des systèmes agroalimentaires passe par de multiples transitions simultanées. Il est rare que les solutions STI émergent au même rythme à tous les niveaux des systèmes agroalimentaires et des chaînes de valeur. L'interdépendance de la diffusion des solutions STI dans un espace et des avancées réalisées dans un autre place la gouvernance des systèmes agroalimentaires au premier plan. Par exemple, les variétés de semences à rendement plus élevé ne peuvent s'imposer que si les institutions du marché évoluent également pour absorber l'augmentation des excédents agricoles sans que les prix des produits ne s'effondrent. D'où la nécessité de concevoir un produit intégré qui étudie l'ensemble des systèmes agroalimentaires – car une innovation au sein d'un système peut facilement être adaptée et diffusée dans un autre – et des activités qui y sont menées, et ce sur le long terme. Les données constituent le principal défi à relever dans cette tâche et sont le thème de la prochaine section.

L'étape d'élaboration des solutions STI est également liée aux moyens par lesquels on tente d'en évaluer l'impact. Les Perspectives ont pour but d'aider à favoriser l'accélération de la transformation des systèmes agroalimentaires pour atteindre plusieurs objectifs: une utilisation efficace et durable de ressources rares, des moyens de subsistance productifs et équitables pour les producteurs, les travailleurs et les propriétaires d'entreprise à tous les niveaux des systèmes agroalimentaires, des régimes alimentaires sains et sans danger pour tous, et la résilience face aux chocs et aux facteurs de stress. Les avancées en matière de STI doivent être évaluées en fonction de ces effets escomptés. Comme on le voit dans la partie inférieure de la [Figure 2](#), tant qu'une solution STI n'est pas sortie des laboratoires, des stations d'essai, des champs des agriculteurs ou d'autres structures d'expérimentation, toutes les évaluations d'impact sont nécessairement préalables à son adoption, c'est-à-dire qu'elle est basée sur des modèles de simulation explicitement numériques ou des modèles mentaux implicites qui alimentent des évaluations qualitatives effectuées par les experts. Une évaluation d'impact *ex ante* est utile même après l'émergence de la solution, particulièrement dans le cadre d'exercices de prospective dont l'objectif est de comprendre comment les effets peuvent varier en fonction des différentes possibilités d'avenir pour les systèmes agroalimentaires (Thornton *et al.*, 2018; Wiebe *et al.*, 2018; Barrett *et al.*, 2022a).

À mesure que de nouvelles avancées du champ des STI font leur apparition dans la pratique courante, au-delà des essais contrôlés effectués par les chercheurs, l'évaluation d'impact *ex post* devient un élément essentiel pour une analyse rigoureuse des résultats concrets produits par une solution particulière ou un ensemble de solutions. Des évaluations d'impact *ex post* rigoureuses ont suscité une attention considérable ces dernières années, tant dans le cadre d'évaluations ponctuelles entreprises par diverses organisations et chercheurs que de programmes de recherche plus vastes, comme on le verra à la section 9. Les erreurs d'échantillonnage et de mesure font inévitablement douter du caractère généralisable et fiable de certaines évaluations isolées, même lorsqu'elles sont correctement réalisées; ces études doivent être reproduites si l'on veut constituer

une base de données factuelles concluante. Une synthèse de l'ensemble des données probantes recueillies dans le cadre des évaluations d'impact, par la voie d'études de cadrage et d'examen systématiques, de méta-analyses statistiques et d'autres méthodes, peut permettre de mieux comprendre ce qui fonctionne de manière fiable, à quels endroits et dans quelles conditions. Les évaluations d'impact intégrées peuvent générer des données concluantes susceptibles d'éclairer les responsables politiques sur les solutions STI dans le domaine des systèmes agroalimentaires, comme en témoigne, par exemple, le projet Ceres2030 (Laborde *et al.*, 2020), dans le cadre duquel une série de synthèses de données a été publiée dans la revue *Nature* (<https://www.nature.com/collections/dhiggjeagd/>).

Compte tenu de la multiplicité des résultats attendus de la transformation des systèmes agroalimentaires, il est également nécessaire d'accorder une attention particulière aux compromis à effectuer entre les différents objectifs. Les effets favorables ne se manifestent pas dans tous les domaines; toutes les solutions STI influent positivement et négativement sur d'autres résultats recherchés du fait des liens étroits qui existent entre les systèmes agroalimentaires (Herrero *et al.*, 2021). Par conséquent, il convient de prévoir une analyse spécifique des compromis à réaliser dans le cadre des évaluations d'impact *ex ante* et *ex post* (Kanter *et al.*, 2018; Antle et Valdivia, 2021) à tous les niveaux, de l'échelon mondial

(Hasegawa *et al.*, 2018; van Meijl *et al.*, 2018, Rosegrant *et al.*, 2017) jusqu'aux échelons national (Sain *et al.*, 2017) et local (Valdivia *et al.*, 2017). La multiplicité des effets exige également que l'on prenne en compte un éventail plus large de points de vue pour comprendre les éventuels obstacles à une meilleure transposition à plus grande échelle ainsi que le risque d'exposition des populations vulnérables à des conséquences indésirables. Il faudra pour cela s'appuyer sur des méthodes de prospective participative qui visent à intégrer systématiquement une plus grande gamme de possibilités et une incertitude plus large (Trutnevite *et al.*, 2016; Vervoort *et al.*, 2014; Zurek et Henrichs, 2007).

L'idée d'élaborer des Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires en libre accès, couvrant l'intégralité du cycle de vie des solutions STI et présentant des données descriptives et des éléments concrets issus d'évaluations d'impact concernant les systèmes agroalimentaires aux niveaux mondial et national, est très attrayante. Mais cette entreprise nécessitera aussi des investissements et un travail considérables, non seulement en ce qui concerne la curation des données, mais aussi la mise au point d'un nouveau système de collecte de données et la définition d'indicateurs de substitution visant à combler les principales lacunes actuelles en matière de données relatives aux solutions STI dans le domaine des systèmes agroalimentaires.



GABON

De l'ADN de viande de gibier est traité dans les laboratoires du Centre international de recherches médicales de Franceville (CIRMF), au Gabon. Des chercheurs travaillant sur le terrain y amènent des centaines d'échantillons qui sont traités aux fins de la lutte contre les zoonoses dans laquelle le Centre est engagé.

CHAPITRE 4

BESOINS ET APPROCHES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Pour comprendre comment les solutions STI peuvent influencer sur les systèmes agroalimentaires et les communautés dans leur ensemble, il est important de cartographier et d'évaluer le paysage de données qui abrite les informations et les indicateurs relatifs à ces technologies et innovations. Les données en général, mais en particulier dans le contexte des technologies et des innovations agroalimentaires, peuvent être répertoriées dans quatre catégories prenant en considération l'accessibilité, la qualité et l'exhaustivité des données.

La première catégorie contient les données qui sont facilement accessibles, de qualité, complètes et normalisées. Les sources de données de cette catégorie sont considérées comme **structurées**, les contenus facilement quantifiables pouvant être analysés de manière relativement efficace. Les mégadonnées, notamment les images satellitaires et les données obtenues par télédétection, sont de plus en plus utilisées pour suivre l'évolution des systèmes agricoles régionaux ou mondiaux (Fritz *et al.*, 2019).

La deuxième catégorie regroupe les données accessibles **semi-structurées**, comme celles stockées dans les bases de données relationnelles. Comme leur nom l'indique, les données semi-structurées présentent une certaine structure mais manquent d'uniformité, ce qui rend leur analyse – en particulier le test d'hypothèse statistique – plus difficile que celle des données structurées.

Cependant, la majeure partie des données appartient à la catégorie des données **non structurées**, telles que les textes et les images. Les données non structurées posent plus de difficultés en matière de normalisation et d'analyse car elles n'ont pas de structure prédéfinie pouvant être mesurée à l'aide d'une série d'indicateurs pour

établir un ensemble de données plus complet et plus cohérent. En tirant parti des données indirectes et des cadres d'analyse fondés sur les vues d'experts, il est possible de procéder à la curation d'ensembles de données non structurées pour de futures analyses.

Enfin, la quatrième catégorie de données, qui présente le plus de difficultés, comprend les données actuellement **non disponibles**. Il est naturellement impossible de tirer des informations de données inexistantes. Il existe néanmoins deux types de données non disponibles, dont l'un englobe les données qui pourraient être observées et mesurées directement mais ne le sont pas. Les lacunes en la matière pourraient être comblées si la demande de ces données justifiait les coûts et les efforts que suppose leur collecte.

L'autre type de données non disponibles englobe les données en rapport avec des phénomènes latents qui, par essence, sont impossibles à observer, et ne peuvent donc pas être mesurés directement. Il s'agit par exemple de concepts tels que la sécurité alimentaire, la pauvreté, la résilience ou la durabilité, pour lesquels des efforts considérables ont été déployés afin d'établir des indicateurs indirects applicables à partir de contenus d'informations raisonnables (Barrett, 2010; Barrett *et al.*, 2021b). Il convient de prendre garde à ne pas simplement supposer que les indicateurs indirects représentent un signal réel lié au concept latent sous-jacent¹⁰. Tous les indicateurs indirects, comme toutes les mesures directes de phénomènes observables, doivent être validés. Nombre de solutions STI qui ne se sont pas encore matérialisées sous des formes tangibles

10 Un exemple de mesures indirectes relatives au concept de plus en plus utilisé de résilience des ménages face aux chocs et aux facteurs de stress est donné dans Upton *et al.* (à paraître).

et mesurables sont classées dans ce dernier type de données latentes non disponibles pour lesquelles on peut, en principe au moins, générer des indicateurs indirects.

Ces différents types de données recouvrent différentes utilisations analytiques des données, qui sont au nombre de trois au moins. Les **analyses descriptives** fournissent simplement des informations sur l'état présent et/ou passé d'une mesure ou d'un indicateur. Les analyses descriptives de données relatives aux avancées des STI concernant les systèmes agroalimentaires sont, par exemple, des rapports sur les dépenses de R-D ou sur la diffusion de technologies dans l'espace et dans le temps. Les analyses descriptives permettent d'obtenir une base de données factuelles pouvant servir à d'autres types d'analyses de données. FAOSTAT est, dans le secteur, un parfait exemple d'ensemble de données structuré (collection d'ensembles de données) utilisé largement pour l'analyse descriptive, mais pas seulement.

Les **analyses prédictives** génèrent des prévisions de phénomènes à venir fondées sur des modèles. Elles résultent souvent de modèles statistiques ou mathématiques, comme les analyses prospectives plus élaborées fondées sur des scénarios. Cependant, les analyses prédictives peuvent aussi être qualitatives, par exemple lorsque les experts essaient de déterminer où et quand les nouvelles solutions STI apparaîtront dans la vie de tous les jours. Les analyses prédictives sont particulièrement importantes pour l'analyse prospective, laquelle requiert d'envisager un éventail d'avenirs possibles et de réfléchir à la probabilité qu'ils se réalisent et aux impacts potentiels, le tout à partir de modèles prédictifs, formels ou informels, explicites ou implicites.

Enfin, l'**analyse inférentielle** consiste à se fonder sur des données pour essayer de comprendre les liens de causalité. L'objectif plus global des Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires est de contribuer à éclairer l'élaboration de politiques des secteurs public et privé visant à accélérer la transformation des systèmes agroalimentaires aux fins de la réalisation des ODD et des objectifs sociétaux connexes. Par conséquent, il est

nécessaire de savoir quelles sont les solutions STI qui entraînent des améliorations significatives par rapport aux indicateurs de performance clés, soit celles qui ont une «taille d'effet» importante dans le langage de l'évaluation expérimentale. Mais une inférence causale rigoureuse doit reposer sur des données de qualité et de bons plans de recherche, ce qui peut être difficile à obtenir à partir des données d'observation des systèmes agroalimentaires complexes du monde réel.

Les Perspectives sont essentiellement axées sur l'analyse descriptive, d'abord parce qu'il est nécessaire de savoir ce qui est et ce qui a été avant de pouvoir prédire ce qui sera ou déduire de manière rigoureuse ce qui a causé les phénomènes observés. Une bonne analyse prédictive et inférentielle a toujours pour point de départ des données et des indicateurs structurés ou semi-structurés fiables relatifs aux phénomènes latents. Une deuxième raison importante est que, comme on le verra aux sections suivantes, il y a de nombreuses lacunes dans les données en matière de STI dans les systèmes agroalimentaires en raison, d'une part, de l'absence de données et, d'autre part, d'un investissement insuffisant dans les biens publics que sont la collecte, le traitement et la curation de données structurées, semi-structurées et non structurées.

S'il est vrai que les principaux objectifs en matière de données seraient de rassembler et de conserver des éléments descriptifs de qualité, les Perspectives devraient aussi être conçues de manière à faciliter de bonnes analyses prédictives et inférentielles. Idéalement, il s'agirait de procéder à la curation d'évaluations prédictives et d'évaluations d'impact, en plus des éléments descriptifs, si les ressources le permettent. L'**Encadré B** décrit certaines des difficultés particulièrement importantes et saillantes concernant les données dans le cadre des Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires.

Enfin, ces approches consistent essentiellement à prendre en compte l'innovation au moment où elle se produit, ou juste après sa naissance, en tant que processus sociotechnique. Les Perspectives englobent les possibilités d'information provenant de diverses sources dans le paysage de l'innovation, sachant que ce n'est peut-être pas là

ENCADRÉ B DIFFICULTÉS EN MATIÈRE DE DONNÉES

Il est important de souligner une série de difficultés liées aux données qui ont des incidences sur la manière dont les critères d'inclusion sont définis et appliqués dans le cadre des Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires.

Disponibilité des données dans les PRFI. Les données relatives aux STI provenant des pays à revenu faible ou intermédiaire (PRFI) sont plus difficiles à obtenir en temps voulu et des problèmes de qualité les rendent plus difficiles à intégrer dans d'autres ensembles de données. La manque d'accès aux données existantes provenant des PRFI complique le recensement des innovations agroalimentaires qui visent spécifiquement ces pays. S'il est vrai que des technologies et des innovations venant d'autres pays peuvent être adoptées et utilisées dans les PRFI, il faut en faire davantage pour expliquer comment et pour quelles raisons une telle technologie/innovation fonctionnerait dans un contexte différent. À l'inverse, les PRFI ont des difficultés à accéder aux données des pays qui en possèdent beaucoup, en raison des systèmes de péages, de questions liées au stockage des données et du manque de structures permettant le partage et l'interopérabilité des données.

Manque de données sur les environnements stratégiques et «chaînon manquant» des chaînes de valeur agroalimentaires. Traditionnellement, la collecte systématique et normalisée de données relatives aux systèmes agroalimentaires s'est concentrée sur les agriculteurs, les pêcheurs et d'autres producteurs primaires ou sur les consommateurs de produits alimentaires. Bien que les activités menées en sortie d'exploitation représentent plus de 70 pour cent de la valeur ajoutée dans les dépenses alimentaires des consommateurs au niveau mondial (Yi *et al.*, 2021), il existe peu de séries de données systématiques couvrant ce large éventail d'activités de restauration, de fabrication, de transformation, de commerce de détail, de stockage, de transport et de vente en gros de produits alimentaires, qui ont des incidences majeures. De même, bien que la variation observée dans l'adoption des technologies au niveau des ménages dans les systèmes agroalimentaires soit davantage due à la variation internationale des contextes politiques qu'aux phénomènes survenus au niveau des ménages, des agroécosystèmes et des marchés (Sheahan et Barrett, 2017), il existe peu de données transnationales comparables concernant les politiques qui influent largement sur les systèmes agroalimentaires.

Double comptage. Une autre difficulté à prendre en considération est la fréquence du double comptage des données lors des analyses d'éléments factuels – en particulier les données relatives aux STI. Par exemple, des informations relatives à une nouvelle solution STI au service des systèmes agroalimentaires pourraient être obtenues à partir d'une source de données sur les solutions émergentes (données relatives aux brevets) mais aussi lors d'un entretien structuré avec un expert du secteur dans le cadre de la recherche de technologies et innovations pré-émergentes. Essayer de fusionner des données peut entraîner un double comptage donnant plus de poids à la solution concernée. Comme les données sur les STI peuvent être classées de différentes façons, il est important, dans le cadre des Perspectives, de définir clairement et très tôt la manière dont elles seront classées et comptabilisées.

Retard dans les évaluations d'impact: Lorsque l'on utilise des indicateurs indirects dans les évaluations d'impact, il peut être difficile de mesurer l'effet d'une innovation ou d'une technologie. Étant donné le caractère nouveau des innovations ou des technologies récentes, le recensement et l'évaluation des résultats ou des incidences sur les systèmes agroalimentaires peuvent prendre plus de temps. Il est difficile de tirer des conclusions et de formuler des suggestions à partir d'idées de technologies agricoles qui n'ont pas été mises en œuvre. Il y a un décalage entre le moment où naît la recherche scientifique et celui où elle se concrétise dans le cadre d'activités opérationnelles (Fritz *et al.*, 2019).

Il existe plusieurs manières de répondre aux difficultés susmentionnées concernant les données. L'inclusion de données dans des langues autres que l'anglais augmenterait la quantité de données disponibles à des fins de curation et d'analyse et permettrait éventuellement d'inclure les données de plus de PRFI. La collecte de données provenant de sources plus diverses requiert que des protocoles de calage et de validation des données plus cohérents soient clairement définis afin que les erreurs telles que le double comptage puissent être résolues et réduites. En outre, il est important de bien définir chaque terme utilisé tout au long du processus de collecte et de validation des données. L'un des principaux résultats des Perspectives sera certainement la mise en évidence des manques importants de données et d'éléments factuels, ce qui pourrait aider à mettre en route des actions visant à les combler.

où l'on observe des signes d'innovation que cette dernière ou les technologies connexes trouvent leur origine ou finissent par se développer. Les informations plus qualitatives, obtenues par exemple dans le cadre d'études de cas, d'entretiens et de groupes de discussion intéressant les agriculteurs, sont des sources de données abondantes qui ne peuvent être ignorées dans le cadre du processus d'élaboration des Perspectives. Bien sûr, la difficulté sera d'intégrer ces données, qui sont rarement harmonisées d'un pays à un autre et assez largement disponibles pour que le critère d'inclusion élaboré pour les séries de données existantes soit satisfait. Selon toute probabilité, les informations qualitatives seront intégrées dans les Perspectives via les processus d'élicitation d'experts et de parties prenantes décrits à la section 6.

Une perspective doit être étayée par des données factuelles. Cependant, compte tenu de l'étendue et de la diversité des systèmes agroalimentaires, il est impossible d'avoir une base de données exhaustive. Le présent rapport recense plutôt les indicateurs qui rendent compte de l'état actuel des perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires et sélectionne des indicateurs susceptibles d'appuyer l'élaboration de futures perspectives. Le rapport a pour but, sur la base des intrants des STI et des stades de pré-émergence, d'émergence et de maturité des solutions connexes, d'isoler et d'évaluer les tendances en matière de STI pour mieux comprendre leur lien avec les systèmes agroalimentaires et leurs incidences sur ceux-ci. Pour ce faire, on s'attache à relier les données de qualité qui sont régulièrement mises à jour à une série d'indicateurs pertinents qui permettent un suivi et une évaluation continue des solutions STI. Cette association de données et d'indicateurs est utile pour déterminer les futures évolutions et les lacunes actuelles tout en évaluant la manière dont les progrès sont réalisés au fil du temps.

Des données sur les **intrants des STI** (section 5) ont été collectées par divers groupes, comme le Service international pour la recherche agricole nationale (SIRAN), les Indicateurs relatifs aux sciences et technologies agricoles et International Science & Technology Practice & Policy (InSTePP), entre autres, à partir de sources de données

structurées et semi-structurées portant, par exemple, sur les dépenses de R-D en lien avec les systèmes agroalimentaires, ou des chercheurs titulaires d'un doctorat. Certains groupes, comme celui qui établit l'Indice mondial de l'innovation de l'OMPI, définissent des indicateurs pour des concepts latents, tels qu'un environnement politique favorable à l'innovation dans le secteur privé. Si la plupart des analyses des données relatives aux intrants des STI sont descriptives, certaines sont inférentielles, comme les estimations des taux de retour sur les investissements dans la R-D sur les systèmes agroalimentaires (Pardey *et al.*, 2018).

Les données relatives aux **solutions STI pré-émergentes** (section 6) posent le plus de difficultés. En général, il est nécessaire de combler les lacunes résultant de la non-disponibilité de données. Cela requiert habituellement des variables latentes – concernant par exemple l'état d'avancement d'une solution STI – et des données non-structurées ou semi-structurées, dont la plupart sont, par essence, non quantitatives. Pour les solutions STI pré-émergentes, l'analyse descriptive est liée de manière quasi-inextricable à la réflexion prospective – quelles solutions sont susceptibles d'émerger, quand et où? – et à l'analyse inférentielle – quelles solutions semblent suffisamment prometteuses pour entraîner les changements souhaités et devraient sortir des laboratoires avant de se diffuser? La description des solutions STI pré-émergentes au service des systèmes agroalimentaires requiert d'autres analyses de données qui ne sont pas nécessaire dans les rapports sur la R-D relative aux systèmes agroalimentaires, par exemple.

Dans le contexte des **solutions STI émergentes** (section 7), les indicateurs clés utilisés pour recenser les innovations sont notamment: les indicateurs relatifs aux brevets, les indicateurs bibliométriques, les indicateurs d'investissement et les indicateurs de service. On trouvera de plus amples informations sur ces indicateurs à la section 7. L'élicitation d'experts structurée peut faciliter l'accès aux connaissances (publiées et non publiées) relatives aux solutions STI émergentes ainsi que leur synthèse et peut, grâce à l'évaluation *ex ante* du potentiel de transformation, aider à cibler davantage les perspectives sur les

technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires.

Les données sur les **solutions STI matures** (section 8) sont les plus abondantes, en particulier les données structurées, car il existe des systèmes de suivi qui permettent de les rassembler et de les publier. Les bureaux nationaux de statistiques et les secteurs d'activité, entre autres, effectuent régulièrement des enquêtes et des recensements, notamment en ce qui concerne les STI au service des systèmes agroalimentaires (quantités de fertilisants appliquées dans les champs ou nombre de machines sophistiquées utilisées dans un secteur, par exemple). Cependant, une grande partie des données relatives aux solutions STI matures ne sont pas disponibles ou, dans le meilleur des cas, sont semi-structurées, car bien qu'il en existe – par exemple dans les registres des approbations des techniques d'amélioration des variétés de végétaux cultivés –, elles ne sont pas systématiquement communiquées ni uniformisées

d'une année à l'autre et entre les cultures et les pays. La collecte et la normalisation des données sont toutefois des opérations coûteuses. Dans les PRFI, en particulier, il existe beaucoup de lacunes en matière de données, simplement en raison de l'insuffisance des ressources financières, humaines et autres nécessaires à l'obtention de ce bien public.

Il convient de prêter attention à une série de facteurs qui peuvent avoir une incidence sur la qualité globale de tous les indicateurs. Dans le contexte des technologies et des innovations, ces facteurs peuvent comprendre l'état de préparation lié au contexte, l'adéquation, l'acceptabilité, l'adoption, l'impact, l'opportunité, la possibilité pour les parties intéressées d'exploiter les indicateurs, et les efforts déployés pour valider les mesures par triangulation et évaluer l'exactitude/la précision. Il convient de faire une distinction entre les indicateurs purement descriptifs et les indicateurs concrets (leviers stratégiques, feuilles de route devant conduire à des effets, par exemple).



FEDERATION DE RUSSIE

Usine de traitement du lait. Une employée travaille sur la ligne de production dans une usine laitière à Voronège.

CHAPITRE 5

INDICATEURS DE CONTRIBUTION DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE L'INNOVATION AUX SYSTÈMES AGROALIMENTAIRES

Les solutions STI destinées à favoriser la transformation des systèmes agroalimentaires au fil du temps ne se matérialisent pas spontanément. La plupart naissent dans un contexte informel, de tentatives délibérées d'améliorer ces systèmes. C'est ce qui s'est passé lors de la première domestication des animaux et des plantes sauvages, il y a environ 10 000 ans, et que l'on observe encore aujourd'hui avec les nombreuses innovations imaginées par des agriculteurs, des producteurs, des transformateurs, des développeurs d'applications numériques, etc., soit individuellement, soit en petits groupes. Les efforts plus formels mis en œuvre en matière de STI résultent d'investissements structurés dans le financement de la R-D combinés à des infrastructures et apports scientifiques indispensables – experts qualifiés et accrédités disposant d'installations suffisamment équipées et de collections de matières premières essentielles (par exemple, du matériel génétique issu d'avancées génétiques) – dans un écosystème de R-D où les institutions et les politiques favorisent l'expérimentation, la découverte, l'adaptation et la mise à l'échelle nécessaires pour repérer des solutions STI prometteuses pour la transformation des systèmes agroalimentaires. Il peut également y avoir un apprentissage considérable par la pratique et l'adaptation; les innovations percutantes ne naissent pas toutes dans des laboratoires¹¹. Bien qu'il puisse exister des écarts considérables entre ces intrants des STI et la mise à l'échelle finale de ces technologies, les preuves que lesdits intrants favorisent une croissance future plus rapide de la productivité totale des facteurs (PTF) des systèmes agroalimentaires sont solides, même si le décalage est souvent de plus

d'une décennie (Alston et Pardey, 2021). Il est donc logique de suivre les intrants des STI comme principaux indicateurs des perspectives qu'offrent ces dernières dans le domaine des systèmes agroalimentaires.

Un certain nombre d'institutions produisent ou conservent déjà différents types de données sur les intrants des STI au service des systèmes agroalimentaires¹². Un processus systématique a été mis en place afin que l'on puisse déterminer quelles données existantes pourraient se révéler utiles et éviter ainsi une duplication d'efforts inutilement coûteuse. Nous avons procédé à un large tour de table, mené une réflexion interne pour repérer les séries connues des différents auteurs, demandé à des collègues des pistes et effectué des recherches sur internet, le tout selon une approche d'échantillonnage «boule de neige», pour trouver des ensembles de données dont on pourrait tirer des indicateurs utiles concernant les intrants des STI au service des systèmes agroalimentaires. Certaines séries n'ont pas pu être prises en compte, en particulier celles qui ne sont pas accessibles au public. Pour combler ces lacunes majeures, il faudra en effet mettre la main sur les séries de données auxquelles l'accès est restreint, mais qui répondent par ailleurs aux critères d'inclusion dans les Perspectives.

Les données sont légion. De nombreux ensembles et séries de données ont été mis en évidence et, finalement, 41 séries différentes de données relatives aux intrants des STI ont fait l'objet d'une étude plus approfondie. Les sources de données accessibles au public sont des institutions des Nations Unies, telles que la FAO, l'UNESCO et

11 Un bon exemple, même s'il est controversé, est le système de la riziculture intensive (SIR), qui est né de l'expérimentation artisanale d'un prêtre missionnaire (agronome de formation) à Madagascar et que l'on retrouve aujourd'hui dans plus de 50 PRFI.

12 On a utilisé les mêmes méthodes pour trouver et évaluer les données relatives aux solutions STI matures pour les systèmes agroalimentaires (engrais, variétés de semences améliorées, etc.), comme il est indiqué à la section 8.

l'OMPI, d'autres organisations multilatérales, comme l'OCDE ou la Banque mondiale, ou encore des organismes de recherche à but non lucratif, comme le Système CGIAR et l'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI), des fondations privées (par exemple Ford, Gates, Rockefeller) et des plateformes multipartites telles que le Forum mondial de la recherche agricole et de l'innovation (GFAR), Gramene, GRIN-Global et le service OPENICPSR du Consortium interuniversitaire pour la recherche politique et sociale (Interuniversity Consortium for Political and Social Research – ICPSR).

Cependant, ce n'est pas parce que les données sont abondantes que toutes les séries sont utiles. Le défi consiste à trouver des données adaptées offrant des mesures actuelles, appropriées et de haute qualité, qui soient pertinentes et d'une portée suffisamment large à l'échelle des pays, en particulier les PRFI. Les six critères de base pour l'inclusion d'une série de données en libre accès dans d'éventuelles Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes alimentaires sont les suivants:

1. On dispose de données au niveau des pays qui permettent de procéder à une analyse ventilée au niveau international.
2. On dispose de données utiles récentes, ce qui signifie que la série comprend au moins un point de données de 2016 à aujourd'hui pour un grand nombre de pays (plus de 50).
3. La série de données est inclusive, ce qui signifie une forte couverture (pas nécessairement universelle) des PRFI.
4. La source de données est fiable: elle s'appuie sur une théorie et une pratique scientifiques reconnues, utilise des processus d'examen par les pairs et provient d'une organisation respectée, crédible, etc., ce qui exclut les groupes de pression ou le matériel journalistique.
5. Il existe une correspondance conceptuelle claire entre les séries de données et les intrants des STI au service des systèmes agroalimentaires.
6. La source de données offre une définition claire, crédible, interprétable et sensée de la variable.

Il est à noter que les données qui ne sont pas actuellement dans le domaine public n'ont pas été prises en compte.

Pour chaque série identifiée, on a compilé des données afin de définir la variable, son nom et sa définition, sa source, le nombre de pays pour lesquels des observations étaient disponibles, le nombre de pays pour lesquels au moins une observation était disponible de 2016 à aujourd'hui, et toute autre information saillante sur cette variable et cette source de données en particulier¹³. On a ensuite cherché à déterminer si la série de données répondait aux six critères d'inclusion ci-dessus. Dans l'affirmative, la série était classée parmi celles à inclure en priorité dans les Perspectives. Une deuxième itération de chaque évaluation a été effectuée afin que l'on puisse confirmer, affiner ou contester l'évaluation initiale et obtenir des confirmations à double entrée des séries de données dont la qualité était jugée suffisante pour qu'elles soient prises en compte. Dans les rares cas où plusieurs séries très similaires satisfaisaient aux six critères, la série dont la FAO assurait déjà la curation a été privilégiée.

Comme le montre le [Tableau 1](#), sur les 41 séries de données relatives aux intrants des STI qui ont été isolées, seules 14 répondaient aux critères d'inclusion de base¹⁴. La disponibilité de données qui soient extensives, à jour et de bonne qualité est une contrainte importante. Il existe en matière de données sur les intrants des STI de vastes lacunes dans les séries accessibles au public, notamment en ce qui concerne le financement de la R-D publique et privée à but lucratif et le personnel correspondant. Cette constatation est comparable aux conclusions d'une récente étude de la Commission sur l'intensification durable de l'agriculture (Commission on sustainable Agriculture Intensification – CoSAI), selon lesquelles il faut agir de manière concertée au niveau mondial pour créer une source d'information unique en libre accès qui ait une portée plus large que ce qui est actuellement

13 Les variations de la même variable sous-jacente sont traitées comme une seule série de données. Autrement dit, les valeurs en dollars courants, en dollars constants et en monnaie locale courante d'une mesure (par exemple, les dépenses de R-D agricole) sont toutes traitées comme des variantes d'une seule série de données, tout comme les variantes des mesures qui reflètent l'intensité par rapport, par exemple, à la production agricole, à la population ou à la superficie des terres. Toutes découlent d'une seule mesure de base, à savoir les dépenses nominales de R-D agricole dans un pays au cours d'une année donnée. Comme les transformations de cette variable sont nombreuses, on utilise la variable racine unique.

14 L'annexe A précise les mesures et les indicateurs qui répondent aux critères d'inclusion, ainsi que ceux que nous avons examinés et qui ne répondaient pas auxdits critères.

TABLEAU 1 INVENTAIRE DES DONNÉES RELATIVES AUX DIFFÉRENTS INTRANTS DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE L'INNOVATION AU SERVICE DES SYSTÈMES AGROALIMENTAIRES (indicateurs/séries/nombre de priorités)

Financement de la R-D	Indicateur pertinent (source de données)
Public (11/4/1)	Dépenses brutes en R-D – Provenant du gouvernement - agriculture et sciences vétérinaires (UNESCO)
Philanthropique (4,4,0)	
Privé (2,2,2)	Dépenses brutes en R-D – Provenant des sciences agricoles privées à but non lucratif (UNESCO) Crédit intérieur au secteur privé (% du PIB) (Banque mondiale)
Enseignement supérieur (2,2,1)	Dépenses brutes en R-D – Provenant de l'enseignement supérieur des sciences agricoles (UNESCO)
Personnel de R-D	
Chercheurs titulaires d'un doctorat (2/2/0)	
Agents de vulgarisation	
Techniciens et personnel assimilé (4/2/0)	
Environnement politique concernant les STI	
Régimes de propriété intellectuelle (7/3/5)	Ratification de la Convention internationale pour la protection des obtentions végétales (Convention UPOV) (OPENICPSR) Exception pour les agriculteurs (OPENICPSR) Exception pour les obtenteurs (OPENICPSR) Durée de la protection (OPENICPSR) Champ d'application du brevet (OPENICPSR)
Capacité de réglementation (1/1/1)	Indice de qualité de la réglementation (indice mondial de l'innovation de l'OMPI)
Conditions pour les start-up (4/3/1)	Faciliter l'activité agricole (Banque mondiale)
Intrants physiques de la R-D	
Importations de haute technologie (1/1/1)	Importations de haute technologie (indice mondial de l'innovation de l'OMPI)
Publications scientifiques (1/1/1)	Nombre de publications scientifiques sur les technologies d'avant-garde (Scopus)
Collections génétiques (2/2/1)	Nombre d'adhésions par pays (Genesys)

Légende

	Comprend un ou plusieurs indicateur(s) pertinent(s)
	Ne comprend pas d'indicateur(s) pertinent(s)
	La recherche n'a donné aucun résultat

disponible (CoSAI, 2021, p. 4). Une grande partie de cet effort s'est concentrée jusqu'à présent sur les intrants des STI car la Commission, s'appuyant sur la conviction que les intrants sont l'élément le plus explicite et le plus facilement influencé, a conclu qu'il s'agissait des indicateurs les plus importants à suivre. Il nous faut des données plus complètes, granulaires et transparentes sur les intrants des STI.

En outre, il convient d'accorder bien plus d'importance à la constitution de données fiables sur les intrants des STI provenant du secteur privé. Les investissements de ce secteur dans la R-D sur les systèmes agroalimentaires ont fortement augmenté ces 25 dernières années, en partie du fait de l'évolution des régimes de propriété intellectuelle (Clancy et Moschini, 2017; Alston et

Pardey, 2021). Cela vaut aussi bien dans les PRFI que dans les pays à revenu élevé. Par exemple, les dépenses privées de R-D agricole de la Chine ont dépassé non seulement ses dépenses publiques dans le même domaine, mais aussi les dépenses publiques et privées de R-D agricole des États-Unis d'Amérique (Chai *et al.*, 2019). Le cas de la Chine est également révélateur dans la mesure où, dans le secteur privé, la R-D s'y concentre davantage sur les étapes de la chaîne de valeur postérieures à la sortie de l'exploitation que la R-D américaine (Chai *et al.*, 2019). Il est évidemment difficile d'obtenir des données sur les intrants des STI issus du secteur privé au service des systèmes agroalimentaires, peut-être surtout dans les PRFI, mais il est de plus en plus important de le faire¹⁵. Des sources telles qu'AgFunder font un assez bon travail de suivi des investissements en capital-risque, mais omettent systématiquement les dépenses de R-D des entreprises établies, qui dépassent presque certainement les fonds injectés dans de nouvelles entreprises.

Certaines des 14 séries qui satisfont actuellement aux six critères d'inclusion pourraient ne pas être durables (par exemple, l'indice de couverture de la protection des obtentions végétales, qui était le produit d'un projet de recherche limité dans le temps). Certaines séries, par ailleurs intéressantes, ne seront plus disponibles après l'arrêt du rapport annuel *Doing Business* de la Banque mondiale, dont a toujours fortement dépendu l'indice mondial de l'innovation de l'OMPI, par exemple, pour ses séries de données. Ainsi, les 14 séries de données actuellement disponibles constituent une base non seulement maigre, mais aussi quelque peu fragile pour évaluer l'état actuel ou récent des intrants qui interviennent dans la production de solutions STI au service des systèmes agroalimentaires au niveau des pays. Étant donné que les intrants

des STI sont des indicateurs clés des stocks de futures solutions STI futurs et de leurs effets sur la transformation des systèmes agroalimentaires, tout engagement à élaborer des Perspectives sur la technologie et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires doit impliquer un engagement proportionnel à travailler vers une couverture meilleure et plus durable des indicateurs clés relatifs aux intrants des STI.

Il n'est pas nécessaire de partir de zéro pour étendre la couverture des données. Il existe des séries de données qui, en principe, pourraient combler ces lacunes, à condition que l'on puisse prendre les dispositions nécessaires pour y assurer un accès fiable et continu afin qu'elles puissent alimenter les Perspectives. Par exemple, le programme d'indicateurs relatifs aux sciences et techniques agricoles (ASTI), hébergé depuis de nombreuses années par l'IFPRI, a minutieusement produit des données détaillées et comparables à l'échelle internationale sur la R-D agricole dans les PRFI. S'il est vrai qu'il s'agit à l'heure actuelle de la base de données la plus complète sur ces pays, sa couverture et, surtout, sa récence ne satisfont pas aux critères d'inclusion fixés pour les données qui alimenteront les Perspectives. L'InSTePP de l'Université du Minnesota a constitué une impressionnante collection de données sur les dépenses et les investissements publics, privés et philanthropiques en faveur de la R-D agricole, sur le nombre et les familles de brevets d'innovations génétiques et génomiques relatives aux sciences de la vie, aux droits sur les variétés végétales et aux innovations concernant les variétés de cultures¹⁶. Les données de l'InSTePP comprennent les données de l'ASTI et s'appuient sur elles. Un rapprochement avec l'ASTI permettrait aux auteurs des Perspectives de collaborer étroitement avec les pays et d'autres partenaires (par exemple l'InSTePP) pour étendre et actualiser plus régulièrement la portée géographique et sectorielle

15 Un exemple éloquent nous vient d'un récent rapport de Dalberg Asia (2021) commandé par la CoSAI. On y a utilisé les données de quatre pays uniquement (Brésil, Chine, Inde, Kenya) pour extrapoler à tous les PRFI et l'on a basé les estimations du secteur privé sur les données de 21 entreprises seulement, dont six seulement (Archer Daniels Midland, Bunge, BRF, Nippon Suisan Kaisha, Thai Union et Tyson) réalisent des activités de transformation après la sortie de l'exploitation. De plus, on n'y a inclus aucune entreprise de fabrication, de vente en gros, de vente au détail ou de services de restauration bien que nombre de ces entreprises en contact avec les consommateurs soient des chefs de file dans l'établissement de normes de produits liés aux processus de production, y compris des produits et processus entièrement nouveaux (par exemple, l'investissement récent de Walmart dans Plenty, start-up d'agriculture verticale).

16 Voir Pardey *et al.* (2016a) pour une documentation sur les dépenses de R-D, qui couvre actuellement les dépenses publiques de 158 pays, généralement à une fréquence annuelle jusqu'à la fin de 2015, les données sur les dépenses privées de R-D de nombreux pays (y compris des pays majeurs tels que la Chine et les États-Unis), des ensembles de données sur les brevets, la protection des variétés végétales et l'adoption de variétés, ainsi que des estimations des taux de rendement des investissements en R-D, données qui sont toutes mises à jour régulièrement (correspondance personnelle de Pardey). Pardey *et al.* (2016b, 2018), Chai *et al.* (2019), Dehmer *et al.* (2019) et Graff et Pardey (2020) offrent de bons exemples d'analyses fondées sur ces ensembles de données.

de données essentielles et de haute qualité sur les intrants des STI.

Il importe de reconnaître, en outre, que même les meilleurs ensembles de données actuels, comme ceux de l'ASTI ou de l'InSTePP, ne satisfont actuellement pas aux critères d'inclusion dans les Perspectives – car leur portée et leur actualité sont insuffisantes et/ou elles ne sont pas en libre accès – et se concentrent fortement sur la composante de production primaire d'amont des systèmes agroalimentaires. Les lacunes constatées dans les segments d'aval, dans la fabrication, la transformation, la vente au détail et les services de restauration ainsi que dans les éléments qui modifient les environnements alimentaires influençant les choix alimentaires des consommateurs sont particulièrement importantes et difficiles à combler.

Les données relatives aux brevets pourraient être incluses dans les intrants des STI, car les découvertes rendues publiques dans les dépôts de brevets deviennent des ressources importantes pour le recensement des solutions STI au service des systèmes agroalimentaires. Cela est inhérent à la nature combinatoire de l'innovation (Arthur, 2009). Les données relatives aux brevets sont examinées en détail dans les sections 6 et 7 en tant que source d'information essentielle à utiliser pour repérer des solutions STI pré-émergentes et émergentes et suivre leur évolution.

Les données relatives aux brevets constituent néanmoins un indicateur complexe et sont donc exclues pour plusieurs raisons, la principale étant qu'il n'existe pas d'ensembles de données mondiaux traités sur les brevets, en particulier dont on aurait extrait les données en rapport direct avec les STI au service des systèmes agroalimentaires. De nombreux gouvernements ne rendent pas publiques les données relatives aux brevets, mais il existe des ensembles de données relatives pour certains pays qui peuvent être une source précieuse de données sur les solutions STI pré-émergentes et émergentes, comme nous le verrons aux sections 6 et 7. Ainsi, les données relatives aux brevets constituent actuellement un indicateur incomplet et brouillé concernant les intrants des STI.

L'une des difficultés tient au fait que les inventeurs déposent souvent une demande de brevet pour la même invention auprès de plusieurs juridictions. Ainsi, la même découverte sera largement reproduite dans les ensembles de données de brevets de différents pays. De surcroît, cette duplication n'est pas toujours facile à repérer en raison des différences qui existent entre les juridictions en ce qui concerne les critères de dépôt de brevets.

Un deuxième problème tient au fait que de nombreuses découvertes pertinentes en matière de STI ne sont jamais brevetées. Selon la nature de la solution et du secteur, les entreprises décident souvent d'adopter une stratégie de secret commercial pour conserver un avantage concurrentiel plutôt que de dévoiler publiquement leur découverte en déposant un brevet, espérant ainsi s'assurer un contrôle monopolistique légal temporaire sur la découverte ainsi protégée. Les manques de données relatives aux brevets qui en résultent dans la couverture des solutions STI sont très peu aléatoires et peuvent donc introduire d'importants biais.

Troisièmement, la plupart des brevets ne sont jamais commercialisés et n'ont donc aucune valeur, soit parce qu'ils reflètent une nouvelle découverte qui ne s'est finalement pas révélée utile, soit parce qu'ils ont surtout servi à empêcher des concurrents de progresser ou à extraire de la valeur de découvertes d'autrui (Lerner, 1995; Shapiro, 2001). Les données relatives aux brevets peuvent donc présenter un rapport bruit/signal élevé en ce qui concerne les Perspectives. D'où «l'énigme des brevets»: l'augmentation du nombre de brevets semble largement non corrélée à l'augmentation de l'activité d'innovation ou à la croissance de la productivité totale des facteurs, voire négativement associée à ces résultats (Boldrin et Levine, 2013). Nous préférons donc traiter les données sur les brevets comme une source de données pour l'étude des solutions STI émergentes et pré-émergentes, comme on le verra aux sections 6 et 7.



**REPUBLIQUE-UNIE DE
TANZANIE**

Un homme répare un bateau de pêche traditionnel au bord du lac Tanganyika à Kigoma. Deuxième lac d'eau douce au monde par son ancienneté et sa taille, il est l'une des principales sources de sardines, de sprats et de perches.

CHAPITRE 6

INDICATEURS RELATIFS AUX AVANCÉES PRÉ-ÉMERGENTES DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE L'INNOVATION

Si l'on examine l'histoire de l'évaluation *ex ante* des technologies de rupture, le tableau est nuancé, et nombreuses sont les critiques qui déplorent la faible capacité prédictive du modèle de la technologie de rupture (Danneels, 2004; Ganguly *et al.*, 2010; King et Baartartogtokh, 2015; Markides, 2006; Paap et Katz, 2004; Yu et Hang, 2010). La capacité de prédire le changement et l'innovation sur le plan institutionnel est tout aussi contestée car ceux-ci résultent de processus sociaux complexes qui mobilisent des entrepreneurs institutionnels et des parties prenantes sociales à différents niveaux pour mettre en œuvre des changements destinés à faire évoluer les institutions existantes (création de nouveaux règlements, par exemple), voire des innovations plus révolutionnaires, comme la création de nouvelles institutions (Hargrave et van de Ven, 2006). Ces innovations apportent souvent une réponse aux changements qui touchent la société, lesquels peuvent résulter d'innovations technologiques, mais aussi d'une évolution du niveau de conscience et des valeurs sociétales partagées. La difficulté de prédire l'avenir est parfaitement reconnue et apparaît plus grande encore lorsque l'on s'intéresse à des activités intrinsèquement déstabilisatrices comme l'innovation, qui ouvre la voie à des changements de modèle, à la création de nouveaux marchés et à la modification de liens établis de longue date entre les humains et l'activité humaine (en donnant une valeur à des matériaux qui n'en avaient aucune précédemment, par exemple).

Compte tenu de la médiocrité des modèles prédictifs actuels et du manque de documents publiés sérieux concernant les technologies pré-émergentes, de nombreuses approches ont cherché à évaluer ces dernières par un processus d'élicitation d'avis d'experts auprès d'un vivier ne se limitant pas aux spécialistes des questions techniques (comme les chercheurs), mais comprenant aussi des

spécialistes locaux (responsables communautaires, agriculteurs ou chefs autochtones, par exemple) ou d'autres personnes compétentes. Les approches reposant sur ce processus d'élicitation font appel à la réflexion prospective, qui consiste à tenter d'étudier des projections conditionnelles, fondées sur des hypothèses transparentes et explicites, dont la plausibilité peut être évaluée (Bell, 1996). L'élicitation structurée d'avis d'experts peut aussi aider à faire la synthèse des connaissances disponibles, publiées et non publiées (Knol *et al.*, 2010), et, lorsque le processus est bien conçu, permet à la fois de réduire l'incertitude liée à la langue pour s'assurer que les experts répondent aux questions de la même manière, en indiquant clairement les hypothèses qui sous-tendent leurs évaluations (Hemming *et al.*, 2017; Bojke *et al.*, 2021), et d'augmenter la qualité, la transparence et la reproductibilité des connaissances que l'on retire de cet exercice (Knol *et al.*, 2010).

Pour pouvoir évaluer plus systématiquement les innovations pré-émergentes et leur capacité de transformer les systèmes agroalimentaires, on propose un modèle de collecte de données et d'élicitation d'avis d'experts itératives visant à détecter les innovations potentielles et, par l'intermédiaire des éléments fournis par les experts, à isoler et évaluer de façon plus détaillée celles qui pourraient être particulièrement utiles et porteuses de transformations. Tous les types d'innovations ne seront pas également représentés dans les travaux publiés et les sources en ligne, ce qui compliquera la détection d'un large éventail d'innovations pré-émergentes. De ce fait, le processus de détection utilisé pour établir les Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires nécessitera un mélange de méthodes de recherche comprenant des techniques classiques et avancées (comme le traitement du

langage naturel [TLN]), mais aussi l'acceptation des contributions directes issues de novateurs et de référentiels d'innovations, les enseignements tirés de la science citoyenne et de la production participative d'idées innovantes, et des enquêtes d'évaluation de l'innovation et des systèmes agroalimentaires fondées sur les besoins, qui aident à déterminer quels sont les principaux domaines qui posent problème pour trouver des solutions. Cette démarche peut être adoptée pour repérer des technologies, comme dans Herrero *et al.* (2020, 2021) et sur le portail Innovative Food Systems Solutions (IFSS), ou des innovations institutionnelles et des politiques inédites.

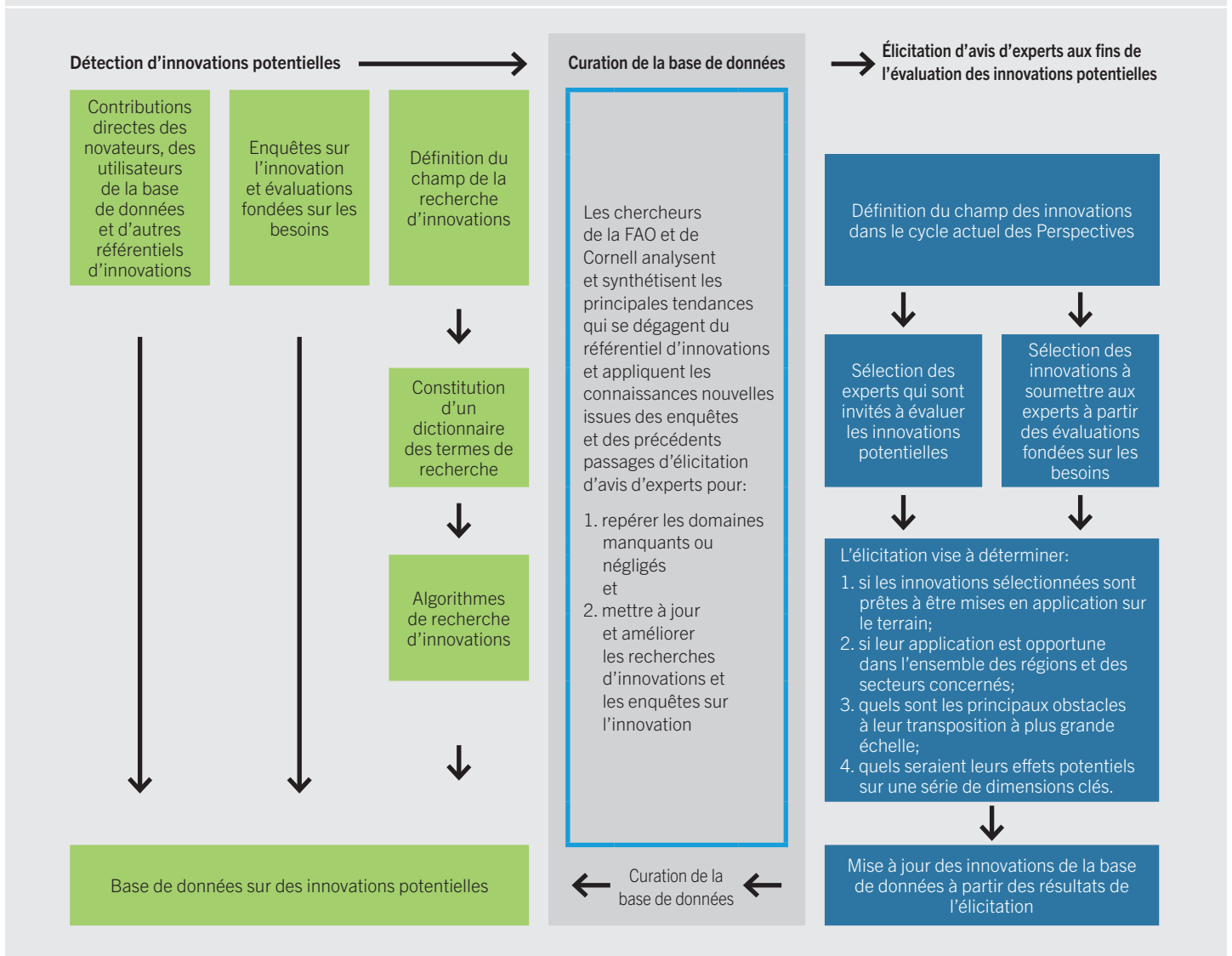
Intégrer des évaluations des besoins réalisées avec des experts peut aider à définir les principales difficultés auxquelles les systèmes agroalimentaires font face et à les hiérarchiser, sachant que les innovations sociales ou institutionnelles ou les politiques innovantes sont toujours apparues en réponse à des problèmes sociétaux et à des changements observés dans les valeurs sociétales. De plus, ces élicitations d'avis d'experts peuvent compléter les indicateurs d'opportunité et de préparation et permettre de mieux percevoir dans quelle mesure les sociétés et les institutions sont prêtes à mettre en œuvre des réformes et des changements potentiels pour répondre aux besoins (Selinske *et al.*, 2020). La strate de pré-émergence est en évolution constante et on ne peut raisonnablement espérer saisir tout le potentiel de la science, de la technologie et de l'innovation. Malgré tout, si ces activités sont menées de façon continue et itérative, et si les éléments recueillis lors de la collaboration avec des experts et avec le public au sens large peuvent être réinjectés dans le processus de détection via la mise à jour des algorithmes de recherche (en élargissant ou en restreignant les paramètres de recherche), ce processus devrait finir par donner une idée des principales avancées en matière de STI qui sont sur le point d'émerger. La [Figure 3](#) met en évidence quelques-unes des diverses méthodes de collecte de données qui peuvent être utilisées pour détecter les innovations pré-émergentes, ainsi que les liens avec les experts et les parties prenantes qui devraient éclairer les nouvelles itérations du processus de détection et d'évaluation.

Lors de l'évaluation d'une sélection d'innovations par les experts, il sera nécessaire de démêler

plusieurs conditionnalités essentielles. L'invention de technologies, de normes et pratiques culturelles et de cadres d'action et de réglementation d'un genre nouveau ne représente qu'une partie de l'innovation et, pour mieux évaluer une innovation potentielle, il est nécessaire de jauger son degré de maturité (en d'autres termes d'apprécier si elle est prête à être appliquée), son opportunité dans des situations particulières (est-elle applicable? extensible?) et l'éventualité, si elle est adoptée à grande échelle, qu'elle bouscule et transforme les systèmes. Il faut pour cela examiner les principaux obstacles et les environnements favorables susceptibles de compliquer ou de faciliter l'adoption d'innovations potentielles; de plus, l'utilisation d'une innovation n'étant pas un processus isolé, il faut aussi repérer les principales innovations complémentaires, qu'elles soient technologiques, sociales ou fondées sur des politiques, qui seront nécessaires à une utilisation à grande échelle. L'élicitation d'avis d'experts sur les innovations pré-émergentes peut partir d'indices et de typologies en usage, tels que l'échelle TRL (Technology Readiness Levels [niveaux de maturité technologique]) de la NASA (National Aeronautics and Space Administration), qui mesure le niveau de maturité d'une technologie (voir l'[Encadré C](#)), le Technology Readiness Index (TRI), qui mesure le degré d'aisance face aux technologies (voir l'[Encadré D](#)), ou l'indice de préparation des pays aux technologies d'avant-garde, élaboré par la CNUCED (CNUCED, 2021), puis pousser plus loin.

En s'appuyant sur l'approche retenue dans Herrero *et al.* (2020, 2021), on peut développer les paramètres d'exploration des STI au service des systèmes agroalimentaires pour que la base de données des innovations potentielles constituée dans le cadre de l'établissement des Perspectives comprenne non seulement les innovations technologiques, mais aussi les évolutions importantes en matière de normes et de pratiques socioculturelles, les politiques et les règlements inédits, les innovations organisationnelles ainsi que les connaissances sous-utilisées et négligées provenant de sources autochtones, des petits producteurs et plus généralement des entrepreneurs informels des systèmes agroalimentaires. On peut aussi intégrer de façon plus systématique les meilleures pratiques dans une élicitation structurée d'avis d'experts et

FIGURE 3 DÉTECTION ET ÉVALUATION ITÉRATIVES D'INNOVATIONS PRÉ-ÉMERGENTES AU MOYEN D'UN MÉLANGE DE MÉTHODES DE COLLECTE DE DONNÉES ET DE L'ÉLICITATION D'AVIS D'EXPERTS



demander plus explicitement à ces derniers de jauger les conditionnalités précédemment décrites pour évaluer avec plus de rigueur les avancées en matière de STI qui auront été sélectionnées. À cette fin, il est proposé que l'exercice d'élicitation vise à appréhender quatre questions essentielles.

1. Déterminer si le degré de maturité d'une innovation potentielle est suffisant pour que celle-ci puisse être utilisée en situation réelle en vue de résoudre un problème dans un laps de temps donné (dans les cinq prochaines années, par exemple).

2. Évaluer l'opportunité de l'utilisation de l'innovation dans une situation et dans un délai donnés, compte tenu non seulement des caractéristiques propres à l'innovation mais aussi de facteurs individuels et socioculturels.

3. Évaluer l'extensibilité de l'innovation dans des situations et des délais précis, en tenant compte des principaux obstacles et des ajustements complémentaires (dans le domaine de l'action publique ou sur le plan culturel ou technologique, par exemple) nécessaires à une utilisation à grande échelle.

ENCADRÉ C ÉVALUER LE NIVEAU DE MATURITÉ TECHNOLOGIQUE

De nombreux modèles ont été élaborés pour mieux évaluer la maturité des technologies et la possibilité qu'elles soient utilisées et diffusées. Concernant les technologies, la NASA (1991) a élaboré l'échelle TRL pour définir et décrire de façon cohérente les niveaux de maturité d'une technologie, qui vont de la description des principes de base (TRL 1) à la mise en œuvre vérifiée (TRL 9).

Cette échelle reflète un processus linéaire de développement des technologies et permet de prévoir plus facilement leur évolution en évaluant le niveau auquel elles se trouvent sur cette échelle. Ces différents niveaux ont été utilisés par des groupes d'experts pour établir des calendriers de projet à court et moyen termes et hiérarchiser les investissements de façon à faire avancer des technologies majeures, mais encore immatures.

Les 9 niveaux de l'échelle TRL de la NASA

Recherche fondamentale	TRL 1: Observation et description des principes de base
Étude de la faisabilité	TRL 2: Formulation du concept et/ou de l'application technologiques
	TRL 3: Preuve expérimentale du concept
Développement de la technologie	TRL 4: Validation en laboratoire
Démonstration technologique	TRL 5: Validation de la technologie en environnement représentatif
	TRL 6: Démonstration du ou des prototypes partiels en environnement représentatif
Développement du système	TRL 7: Démonstration du prototype du système complet dans un environnement représentatif
Mise en œuvre du système	TRL 8: Système achevé au moyen de tests et démonstrations
	TRL 9: Mise en œuvre et déploiement de la technologie

On peut évaluer le niveau de maturité d'une technologie donnée en demandant à différents chercheurs de lui attribuer une note ou en obtenant des avis d'experts via un processus d'élicitation pour évaluer un portefeuille de technologies et d'innovations et les classer en fonction de leur

niveau de maturité. Il est aussi possible d'obtenir davantage d'informations sur la maturité de différentes technologies en passant en revue les bases de données sur les investissements en capital-risque, ce qui permet de distinguer les stades de développement (point abordé plus en détail ci-après).

Sources: NASA (1991) et Héder (2017)

- Évaluer la capacité qu'ont les innovations potentielles de générer des transformations si elles sont utilisées à grande échelle en examinant les résultats positifs et négatifs que leur déploiement pourrait entraîner et en s'efforçant de neutraliser les effets décrits par la loi d'Amara¹⁷.

Les défis à relever dans l'élicitation d'avis d'experts ne résident pas seulement dans la conception structurelle, mais concernent aussi la constitution d'un vivier d'experts suffisamment vaste et divers pour permettre une collaboration autour d'un large éventail de perspectives et de spécialités utiles. Pour mener une série durable et continue d'élicitations visant à éclairer les Perspectives, il faut aussi pouvoir maintenir la collaboration avec lesdits experts durant une période prolongée plutôt que de les solliciter de façon ponctuelle.

17 Loi formulée par R. Amara, qui constatait que l'on avait tendance à surestimer (à accroître) le potentiel à court terme des innovations tout en sous-estimant leurs effets à long terme.

ENCADRÉ D ÉVALUER LA POSSIBILITÉ QU'UNE TECHNOLOGIE OU UNE INNOVATION SOIT ADOPTÉE

Pour évaluer *ex ante* la possibilité qu'une technologie ou une innovation soit adoptée, il faut examiner les nombreux facteurs incitatifs ou inhibitifs qui influent sur le comportement des individus lorsque ceux-ci décident d'adopter ou non une nouvelle approche. Conscient de cette réalité, Parasuraman (2000) a proposé l'indice TRI qui quantifie la propension des personnes à accueillir une nouvelle technologie en examinant une série de caractéristiques individuelles

et de facteurs révélateurs de la disposition des personnes à adopter une technologie innovante (Blut et Wang, 2020). La valeur de cet indice est établie à l'aide d'une série de questions associées à une échelle de Likert à 5 choix de réponse concernant quatre grandes dimensions (optimisme technologique, goût pour l'innovation, inconfort et insécurité), comme illustré à la [Figure 4](#).

FIGURE 4 DIMENSIONS DE L'INDICE TRI

Source: Parasuraman (2000).

L'indice TRI s'intéresse en priorité aux individus, mais d'autres facteurs, parmi lesquels un environnement favorable, sont essentiels pour évaluer si une technologie, une pratique ou une norme innovante peut être utilisée et diffusée. Tout comme les niveaux de l'échelle TRL, on peut estimer l'indice TRI par l'élicitation d'avis d'experts mais aussi en visant

des publics plus larges, par l'intermédiaire de la production participative. L'indice TRI doit être élargi afin que les influences socioculturelles, économiques et politiques qui restreignent les choix des individus soient prises en compte, comme dans le modèle multicouche des influences s'exerçant sur les choix alimentaires proposé par Afshin *et al.* (2014).

La suite du présent chapitre traite de façon plus approfondie d'autres ressources et sources de données pouvant servir à dresser et à enrichir une liste d'innovations pré-émergentes, puis s'intéressera aux défis et approches liés à l'élaboration d'un processus structuré d'élucidation d'avis d'experts permettant d'évaluer ces innovations.

6.1 DRESSER UNE LISTE D'INNOVATIONS POTENTIELLES

La nature même des innovations émergentes fait que les travaux de recherche publiés sont peu nombreux à s'y intéresser et que la littérature grise disponible est souvent vague, du fait du manque d'applications concrètes ou de la nécessité de protéger une propriété intellectuelle naissante. On peut néanmoins tenter de cataloguer systématiquement les innovations pré-émergentes dans le domaine agroalimentaire en rassemblant une collection abondante et détaillée d'innovations potentielles.

On peut s'appuyer sur les méthodes de catalogage de technologies prometteuses qui ont été tentées, notamment en constituant des listes de start-up du secteur agroalimentaire dont il est probable qu'elles font appel à des technologies et à des approches innovantes et en collectant des informations sur les innovations qu'elles mettent en pratique. Outre l'accès aux bases de données répertoriant les start-up, ces listes peuvent être complétées à l'aide d'informations tirées des sources de financement de ces entreprises (pour des exemples de sources potentielles d'informations sur les start-up du secteur agroalimentaire et leurs sources de financement, voir l'annexe B).

De même, on peut analyser le paysage de l'innovation dans le domaine de l'action publique en évaluant les travaux publiés (livres blancs, par exemple) par les laboratoires d'idées

influent qui travaillent dans ce domaine (Institut Brookings, Chatham House, Réseau d'analyse des politiques agricoles et alimentaires et des ressources naturelles [FANRPAN], entre autres), les établissements universitaires et les banques de développement pour y trouver de possibles innovations institutionnelles et stratégiques.

Il peut être plus délicat de trouver des informations sur les sources d'innovation sous-utilisées et souvent négligées, qui sont souvent moins présentes dans les documents publiés (littérature grise et publications à comité de lecture). Il faudra peut-être fournir des efforts supplémentaires pour colliger activement ce type d'informations à l'aide d'enquêtes ciblées et d'appels ouverts rapides invitant des experts de tous horizons à remplir un bref questionnaire en ligne en indiquant les avancées prometteuses en matière de STI dans leur secteur. L'appel ouvert donne aux experts l'occasion de participer à l'établissement des Perspectives sans trop s'engager dans le processus. Les approches fondées sur la production participative et la science citoyenne sont une autre piste à explorer pour tenter de mettre en évidence une plus vaste palette d'avancées des STI. Toutes ces stratégies sont utiles non seulement pour détecter les solutions les plus utiles en matière de STI, mais aussi pour alimenter les algorithmes de recherche avec des mots descriptifs uniques à utiliser comme mots-clés dans les systèmes de TLN. Les plateformes de financement participatif avec prise de participation (voir l'[Encadré E](#)) constituent une autre source potentielle d'informations sur les entrepreneurs qui n'ont pas accès à certains services ou sont moins représentés.

ENCADRÉ E FINANCEMENT PARTICIPATIF DANS LES PAYS DU SUD

Les néo-entrepreneurs sont principalement autofinancés ou soutenus par leur famille et leurs amis (Spiegel *et al.*, 2016). Ces types d'arrangement sont souvent informels, ce qui ne permet guère d'appréhender l'ensemble des sources de financement de démarrage des systèmes agroalimentaires. Cela étant, les progrès récents du financement participatif fournissent de nouveaux éléments sur les sources de financement des start-up. Ces plateformes aident à mettre les entrepreneurs en relation avec des investisseurs – aidant les marques à gagner en notoriété – et les start-up avec des clients potentiels.

Le développement du modèle de financement participatif avec prise de participation, qui cherche à améliorer la transparence des investissements et des dons et à faciliter l'accès au financement, y compris pour les groupes marginalisés qui, depuis toujours, n'ont qu'un accès limité au financement et au soutien aux entreprises, est particulièrement intéressant pour les *Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires*.

Le financement participatif connaît un essor impressionnant et l'on voit apparaître toute une série de plateformes internationales, régionales et nationales. À cela s'ajoute le développement de plateformes de financement participatif plus spécialisées, ciblant les start-up qui sont à un stade particulier de leur croissance (investissement dans les premiers stades) ou qui opèrent dans certains secteurs de l'économie, comme l'agroalimentaire. Des plateformes à rayonnement régional sont également apparues en Afrique, en Asie et en Amérique latine, certaines fonctionnant avant tout au niveau national et d'autres dans différents pays de ces régions. Malgré des différences notables entre ces diverses plateformes, toutes ont en commun de tenter d'élargir l'accès au financement de populations jusque-là mal desservies.

On trouvera ci-après un échantillon de plusieurs types de plateformes de financement participatif susceptibles de fournir des informations précieuses sur l'activité entrepreneuriale dans le domaine agroalimentaire.

Quelques plateformes de financement participatif pouvant être utiles

Généralistes	Ciblent les premiers stades	Ciblent le secteur agroalimentaire
Kickstarter	Crowdcube	Foodhack
Indiegogo	Seedrs	Vegan Launch
Crowdfunder	Ourcrowd	Sustainable Food Ventures
Wefunder	Fundify	
Angellist Venture	Funding Societies	
Kiva		

Quelques plateformes régionales de financement participatif pouvant être utiles

Afrique	Asie	Amérique latine
Farmcrowdy (Nigéria)	Oporajoy (Bangladesh)	PlayBusiness (Mexique)
Sokaab (régions de Somalie)	SeedOut (Pakistan)	Kickante (Brésil)
Fundkiss Technologies Limited (Maurice)	Wadiz (République de Corée)	GreenCrowds (Équateur)
Backabuddy (Afrique du Sud)	Sinwattana (Thaïlande)	Patrociner (Pérou)
M-Changa (Kenya, Afrique du Sud)	LetsVenture (Inde)	Broota (Chili)
Zidicircle (Éthiopie, Kenya, Ghana)	Tanifund (Indonésie)	Idea.me (Argentine, Brésil, Chili, Colombie, États-Unis d'Amérique, Mexique, Uruguay)

6.2 DÉFINIR LES COMPÉTENCES UTILES

L'objectif des processus d'élicitation d'avis d'experts est de mobiliser des connaissances et des compétences difficiles d'accès sur une large série de perspectives, afin d'approfondir notre compréhension de questions extrêmement incertaines, mais essentielles. Le choix des experts participant au processus d'élicitation aura une influence non négligeable sur les résultats obtenus et sur l'acceptation des conclusions par le grand public (Knol *et al.*, 2010). Il est donc essentiel que la palette de perspectives et de connaissances offerte par le vivier d'experts sélectionnés soit large tout en restant pertinente. De plus, le vivier d'experts devra évoluer à chaque itération pour que le champ de connaissance que ces spécialistes représentent corresponde aux principaux domaines étudiés dans l'itération considérée. Compte tenu des nombreuses retombées potentielles d'une transformation à grande échelle des systèmes agroalimentaires, il est essentiel de ne pas se cantonner aux perspectives classiques – technologiques et axées sur la productivité –, mais de considérer aussi les incidences sur l'environnement, les moyens d'existence, l'équité, la justice, les habitudes de consommation, l'alimentation et les résultats en matière de santé et de nutrition.

Si l'on se réfère à Knol *et al.* (2010), on peut envisager plusieurs grandes catégories d'experts dont les compétences seront nécessaires pour évaluer les innovations pré-émergentes:

1. Des spécialistes du sujet traité/des technologies, qui jouent un rôle critique dans l'évaluation des questions propres aux technologies, comme la maturité des innovations, les intrants nécessaires à l'utilisation des technologies et les résultats que l'on en attend.
2. Des généralistes, qui ont une connaissance des disciplines considérées et une compréhension plus large du contexte de développement, d'utilisation et de diffusion des innovations. Ces experts jouent un rôle essentiel dans la mise

en évidence des défis liés à l'extensibilité et des principaux obstacles à une utilisation à grande échelle ou dans des contextes particuliers.

3. Des praticiens (agriculteurs, producteurs, transformateurs d'aliments, négociants, entre autres) qui ont acquis sur le terrain des compétences fondamentales pour évaluer les problèmes potentiellement associés à une utilisation à grande échelle et peuvent attirer l'attention sur les sources locales d'innovation qui, sans eux, pourraient être négligées. Des penseurs poursuivant un raisonnement divergent et une réflexion prospective, qui ont l'habitude d'imaginer les conséquences imprévues des innovations et du changement sociétal et d'y réfléchir. Ces experts sont essentiels pour soulever les questions et exprimer les inquiétudes relatives à d'éventuelles conséquences inattendues de l'utilisation des innovations, et pour percevoir les non-linéarités importantes dans l'utilisation des innovations à grande échelle.
4. Des spécialistes de l'élicitation d'avis d'experts, importants pour organiser les produits de l'élicitation et en faire la synthèse.

Par le passé, les élicitations d'avis d'experts se concentraient souvent sur des spécialistes techniques et universitaires (affiliés à un centre de recherche, un organisme public ou un institut technologique compétent, par exemple), mais les transformations que ces innovations sont susceptibles d'entraîner peuvent toucher la société tout entière. C'est pourquoi il est important d'élargir la notion de compétences afin d'augmenter la probabilité d'embrasser autant de perspectives utiles que possible. Le fait que cette connaissance approfondie des innovations pré-émergentes puisse ne pas être disponible dans les travaux publiés et les sources universitaires indique aussi qu'il est nécessaire d'étendre la définition de l'expert aux praticiens de terrain (producteurs primaires, transformateurs des aliments, négociants, etc.), aux entreprises, aux pouvoirs publics, à la société civile ainsi qu'aux spécialistes rompus aux questions de santé et de nutrition, tout en veillant à la diversité géographique et culturelle de la sélection et à un juste équilibre entre les femmes et les hommes.

6.3 RÉPÉRER ET SÉLECTIONNER LES EXPERTS POTENTIELS

Le nombre d'experts à réunir doit être déterminé en fonction du niveau d'incertitude des questions qui leur seront posées, sans perdre de vue les difficultés de facilitation que pose la gestion d'un grand groupe d'experts.

Pour améliorer encore le processus d'élicitation qui sous-tend les Perspectives, il convient de mener plusieurs élicitations d'avis en parallèle. Cette démarche se justifie par le fait que le champ des STI au service des systèmes agroalimentaires est trop vaste pour qu'il soit matériellement possible de réunir l'ensemble des compétences nécessaires en un seul groupe. Elle permet également d'étudier simultanément une plus grande diversité de sujets et de questions. La constitution de groupes d'experts présente plusieurs grands avantages. Une fois les experts répartis par groupes, il devient possible de leur poser des questions de calage plus ciblées de façon à améliorer la pondération des réponses obtenues (méthode de Cooke). Les enquêtes par panel (par groupe) peuvent aussi contenir des questions plus ciblées, qui améliorent l'exactitude des réponses et permettent des réponses plus éclairantes. Toutes les enquêtes par panel peuvent aussi comporter des questions plus générales qui, posées à chaque groupe, permettent une comparaison croisée de tous les experts participant à l'étude (Aspinall *et al.*, 2016). De plus, la conduite de plusieurs groupes en parallèle peut contribuer à réduire la charge qui pèse individuellement sur les experts, ce qui augmente la probabilité que ceux-ci continuent de participer.

Étant donné le niveau élevé d'incertitude inhérent à l'évaluation d'innovations pré-émergentes, celles-ci pouvant susciter des opinions très divergentes d'un spécialiste à un autre, il sera probablement préférable de composer des groupes d'experts assez nombreux – entre 15 et 20 participants par groupe (Aspinall, 2010). Il convient toutefois

de sélectionner les participants avec soin pour s'assurer que chacun rend compte d'un point de vue qui lui est propre sur les systèmes agroalimentaires; en effet, ajouter des experts partageant les mêmes opinions et point de vue réduirait la valeur de l'élicitation et pourrait faire croire à tort à un consensus.

Habituellement, les experts sont sélectionnés au moyen d'une série de critères courants, tels que leurs compétences et expérience avérées dans le domaine considéré, la reconnaissance de leurs pairs et du grand public et leurs contributions à des travaux de recherche (Bojke *et al.*, 2021). Il existe des indicateurs qui permettraient de simplifier le processus de sélection et d'en raccourcir la durée. Parmi les indicateurs les plus communément utilisés pour définir un expert, on peut citer l'âge, le nombre d'années d'expérience dans un domaine de spécialisation, l'étendue du champ d'expertise (indiquant une spécialisation plus ou moins pointue), le nombre de publications et l'expérience acquise dans des champs de recherche ou des secteurs industriels particuliers (Antonelli *et al.*, 2019). Il reste que ces indicateurs peuvent parfois témoigner davantage du prestige d'une personne que d'une réelle compétence (Burgman *et al.*, 2011), aussi le critère ultime de sélection devrait-il être sa capacité de comprendre les questions du processus d'élicitation et d'y répondre. Cette dernière étape peut être franchie lors d'une réunion de présentation, qui permet aux experts sélectionnés de découvrir la conception et l'objet du processus d'élicitation et d'obtenir des éclaircissements avant de s'engager à participer à ce processus (Hemming *et al.*, 2017).

Pour améliorer encore la sélection définitive d'experts, les chercheurs doivent s'efforcer de diversifier autant que possible le vivier ainsi constitué. «La diversité doit se retrouver dans les différences d'âge, de genre, de bagage culturel, d'expérience vécue, d'éducation et de spécialisation, qui sont autant d'indications d'une diversité cognitive» (Page, 2008, cité dans Hemming *et al.*, 2017). Étant donné que le repérage et la sélection doivent être réalisés au sein d'une population plus large que celle des experts au sens classique du terme, les méthodes habituelles de repérage devront être complétées par des démarches visant explicitement à obtenir

d'autres perspectives sur l'innovation au service des systèmes agroalimentaires, des perspectives sous-représentées et qui sortent des sentiers battus, comme celles des petits producteurs ou des peuples autochtones.

On peut notamment trouver des experts parmi les personnes qui assistent, comme orateurs ou participants, aux nombreux sommets et conférences sur l'alimentation et l'agriculture organisés dans le monde. En raison de la covid19, ces sommets ne se sont jamais aussi souvent déroulés en ligne, ce qui permet parfois la participation d'un auditoire plus nombreux. Les conférences agroalimentaires internationales varient par la taille, le but, le thème principal et les organismes associés. Pour établir une large sélection transversale, nous avons mené la recherche initiale sur toutes les conférences relatives à l'innovation, aux technologies ou à l'investissement dans le domaine des systèmes agroalimentaires ainsi qu'à leur transformation. Après un inventaire rapide des conférences récentes, quatre catégories générales ont été définies: secteur universitaire, secteur industriel, politiques publiques et capital-risque. Ces catégories ne se veulent pas exhaustives mais sont utiles pour montrer que, selon leur type, les conférences poursuivent des buts différents, ce qui peut faciliter le repérage d'experts venus d'horizons culturels divers. Il est probable en effet que les participants à ces différents types de conférences seront versés dans des domaines d'innovation distincts. Ainsi, on peut penser que les investisseurs auront une compréhension plus fine de la situation des marchés et des contraintes financières en général, tandis que les spécialistes de l'industrie seront capables d'appréhender la maturité technologique et les caractéristiques des produits de façon plus détaillée et que les experts en politiques publiques seront plus conscients des conséquences imprévues des innovations et mieux armés pour soulever des questions en lien avec l'équité et la justice. Le **Tableau 2** résume quelques-unes des principales caractéristiques de ces différentes catégories de conférences.

6.4 ÉLICATION STRUCTURÉE D'AVIS D'EXPERTS UTILISÉE DANS LE CADRE DES PERSPECTIVES

Le processus d'élicitation d'avis d'experts utilisé dans le cadre des Perspectives est un processus à long terme, et doit donc être conçu et exécuté en conséquence, que ce soit du point de vue des experts participants ou des chercheurs qui s'occupent de la collecte et de l'agrégation des informations. Dans cette optique, un processus durable se définit comme un processus qui peut être mené fréquemment, prend en compte et réduit autant que possible l'investissement en temps demandé aux participants et aux chercheurs et prévient les abandons dus à l'épuisement des participants, tout en continuant de produire des données fiables et valides. Il faut pour cela mettre sur pied une plateforme de données de recherche issues de l'élicitation, ce qui fluidifiera l'acheminement des enquêtes destinées à ces derniers, puis collecter et réunir les estimations des spécialistes dans des formats aisément accessibles et compréhensibles de façon à éclairer les débats d'experts et, par la suite, à faciliter l'analyse et l'agrégation des résultats présentés dans les Perspectives.

Il n'existe pas de norme de consensus pour un modèle d'élicitation d'avis d'experts, mais le protocole IDEA (Investiguer, Débattre, Estimer et Agréger) est en train de devenir un recueil reconnu de protocoles souples applicables à un processus d'élicitation qui améliore le caractère fonctionnel du processus et l'expérience des utilisateurs. Les protocoles résument les meilleures pratiques issues d'une série de méthodes Delphi et de méthodes d'élicitation d'avis d'experts (Hemming *et al.*, 2017; voir l'annexe C pour des informations plus détaillées sur les méthodes d'élicitation) en quatre étapes essentielles:

TABLEAU 2 RÉSUMÉ D'UN INVENTAIRE RAPIDE DES CONFÉRENCES SUR LES INNOVATIONS DANS LE DOMAINE AGROALIMENTAIRE ET DES EXPERTS SUSCEPTIBLES D'Y PARTICIPER

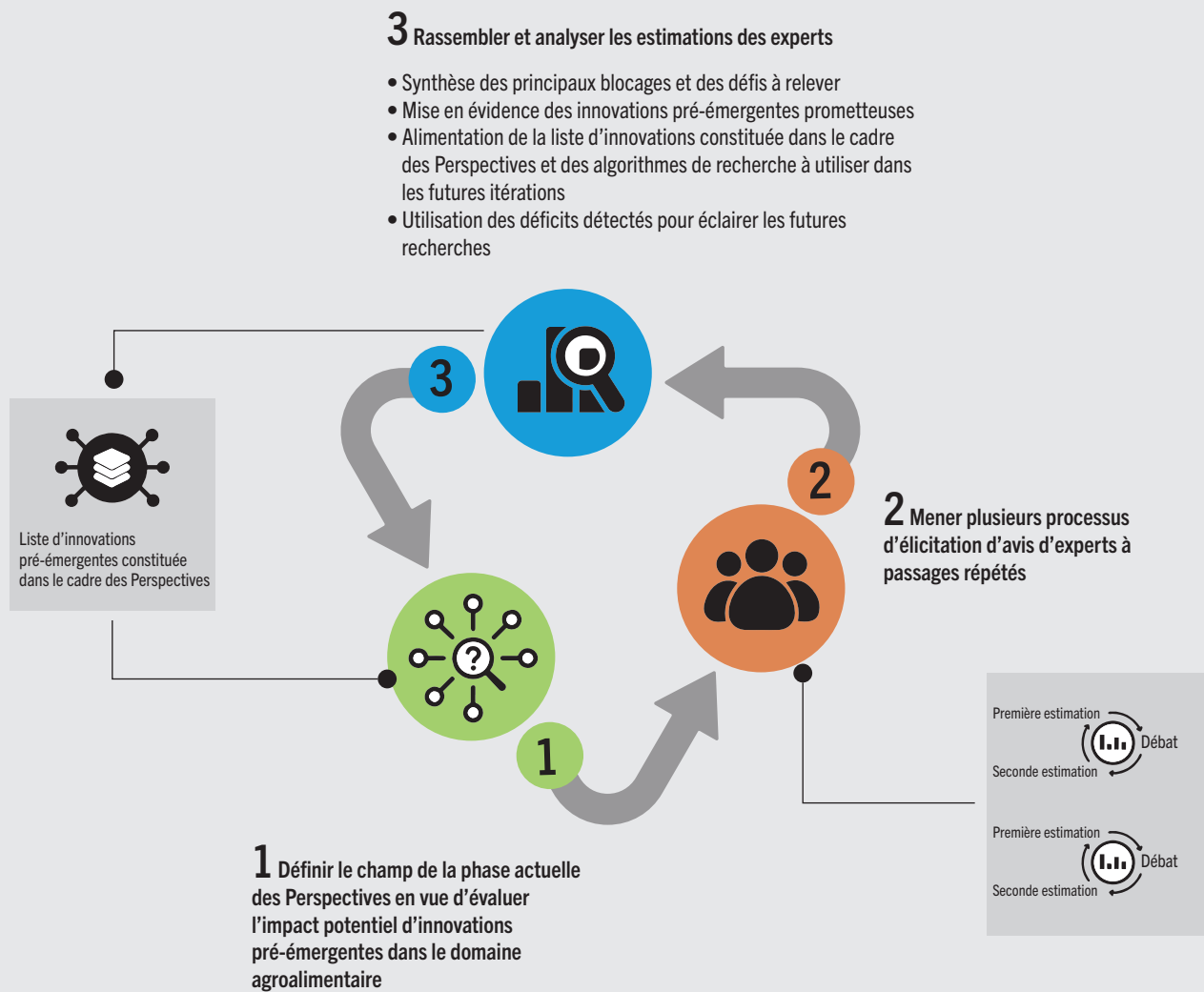
Type de conférence	Secteur universitaire	Secteur d'activité	Politiques publiques	Capital-risque
Types de questions examinées	Adaptation au changement climatique, économie circulaire, gaspillage de nourriture, biodiversité, alimentation saine	Protéines de substitution, transformation numérique, protection biologique des cultures, chaîne d'approvisionnement, conception circulaire	Croissance/mécanisation des petites exploitations, décarbonation, résilience, transformation des systèmes alimentaires, atténuation du changement climatique/adaptation à ses effets, alimentation saine	Protéines de substitution, innovations relatives aux magasins d'alimentation, chaîne d'approvisionnement, transformation numérique
Innovations mises en lumière	Global Forecast System, gros plan sur les solutions numériques et les solutions fondées sur les données, assurance indicielle, données agricoles, modèles de gouvernance/ de prise en main	Télé-détection applicable aux cultures, intelligence artificielle, technologie de chaîne de blocs, mégadonnées, protéines d'origine végétale, robotique	Lutte biologique contre les ravageurs, compostage circulaire, plateformes de données ouvertes, progrès en culture hydroponique	Culture hydroponique, substituts de viande, substituts de produits laitiers, aliments fonctionnels, robotique, données et analyses, intrants végétaux de substitution
Pays concernés par les questions traitées	Tous les pays du monde, pays à faible revenu, pays à revenu intermédiaire	Pays à revenu élevé	Tous les pays du monde, pays à faible revenu, pays à revenu intermédiaire	Pays à revenu élevé
Bénéfice d'une recherche par les experts dans cette catégorie	Informations sur les travaux de recherche considérés	Informations sur les innovations émergentes, en particulier l'échelle, la production et le marché existant	Informations sur la possibilité de mise en œuvre, les modèles existants, les interventions précédentes réussies, la situation des systèmes agroalimentaires	Informations sur les innovations nouvellement apparues (ce qui est financé et ce qui ne l'est pas), la production et la valeur marchande
Experts potentiels à cibler	Orateurs, intervenants	Exposants, orateurs, intervenants, membres des conseils consultatifs	Orateurs, intervenants, membres des conseils consultatifs	Orateurs, intervenants, membres des conseils consultatifs

1. **(I)nvestiguer** – Tous les experts répondent individuellement aux questions et fournissent leur argumentation.
2. **(D)ébatte** – Les experts débattent des résultats anonymisés issus de la première série de réponses et ont alors l'occasion de poser des questions et d'échanger des informations utiles.
3. **(E)stimer** – Tous les experts répondent de nouveau individuellement aux questions, révisant et mettant à jour les estimations, le cas échéant, à partir des éclairages apportés par l'étape de discussion.
4. **(A)gréger** – Les résultats individuels sont réunis en une synthèse des réponses des experts.

L'équipe chargée des Perspectives, suivant le protocole IDEA et les méthodes Delphi classiques, mènerait des enquêtes à passages répétés qui permettraient aux experts d'examiner

les résultats agrégés issus des réponses données aux précédents passages et d'en débattre, ce qui leur offrirait également l'occasion d'ajuster et de mettre à jour leurs propres estimations à partir des éléments probants échangés lors de ces débats et de résoudre tous les problèmes d'ambiguïté liés à la langue (Hemming *et al.*, 2017). Les méthodes Delphi classiques ont utilisé cette procédure pour aboutir à un consensus entre les experts (Cole, Donohoe et Stellefson, 2013), mais le consensus n'est pas requis pour l'élicitation organisée dans le cadre des Perspectives, car il peut être plus utile de mettre en lumière les points sur lesquels le consensus existe et ceux qui sont associés à une incertitude et une divergence d'opinions importantes. Comme dans l'approche adoptée par Chrysafi *et al.* (2022) pour estimer les liens entre les processus du système Terre, le processus d'élicitation d'avis d'experts des Perspectives

FIGURE 5 PROPOSITION D'UN FLUX DE TRAVAUX POUR L'ÉVALUATION D'INNOVATIONS PRÉ-ÉMERGENTES



intégrera les élicitations menées en parallèle dans un flux de travaux qui visera à compiler et synthétiser de façon continue et itérative la compréhension des innovations pré-émergentes, les résultats de chaque itération venant alimenter en retour les référentiels de données sur ces

innovations et mettant en évidence les principaux déficits à combler lors des passages futurs (Figure 5). L'annexe C donne une description par étapes plus détaillée du processus d'élicitation d'avis d'experts envisagé dans le cadre des Perspectives.



MADAGASCAR

Rahova, vendeuse de poisson, patiente près d'un bateau avec le poisson qu'elle a acheté à des pêcheurs.

CHAPITRE 7

INDICATEURS RELATIFS AUX AVANCÉES ÉMERGENTES DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE L'INNOVATION

Une avancée émergente en matière de STI est une nouvelle tendance, innovation ou application d'une technologie existante, ou une nouvelle technologie, politique, institution ou autre innovation qui a été utilisée en conditions réelles – après les essais pilotés par les chercheurs – au cours des dernières années. Elle peut dans un premier temps apparaître sous la forme d'un sujet tendance sur les réseaux sociaux, d'une idée brevetée par un entrepreneur, d'une entreprise récente financée par capital-risque ou de nouvelles activités locales lancées par des agriculteurs, des pêcheurs, des éleveurs pastoraux ou d'autres communautés de petits innovateurs non officiels dans les systèmes agroalimentaires. Les données des domaines émergents des STI sont souvent imbriquées, et il est fréquent que les indicateurs connexes relèvent de différents aspects de ces dernières, si ce n'est de tous. En outre, les avancées en matière de STI peuvent apparaître à certains endroits bien plus tôt qu'ailleurs, et sous différentes formes dans différents lieux. Partant, il est extrêmement difficile d'effectuer un suivi de l'émergence de ces avancées.

Il est important de déterminer comment les moteurs de développement des STI et des infrastructures sont présentés dans le débat plus large sur les systèmes agroalimentaires. Fanzo *et al.* (2021) ont mis en évidence que l'innovation naissait dans deux univers (Figure 6) : dans les chaînes d'approvisionnement des systèmes alimentaires – systèmes de production, stockage et distribution, transformation et conditionnement, commerce de détail et marchés – et dans les environnements alimentaires – disponibilités alimentaires et accessibilité physique, accessibilité économique, promotion, publicité et information, et qualité et sécurité sanitaire des aliments. Il est possible de comprendre où les STI trouvent leur place dans les systèmes agroalimentaires en utilisant l'intelligence

artificielle (IA) pour faire apparaître et localiser les différents types de technologies et d'innovations et les organiser dans un cadre qui met en relief les progrès technologiques, sociaux, politiques, économiques et écosystémiques.

Les informations relatives aux technologies émergentes qui pourraient répondre aux objectifs visés dans les pays à revenu faible ou intermédiaire ne viendront pas d'une seule source de données. Le choix d'une technologie ou d'un service, si prometteurs qu'ils soient, devra être confronté aux données relatives à la faisabilité au niveau du pays et aux indicateurs tels que les conditions en matière de connectivité, d'électrification et de routes et d'infrastructures.

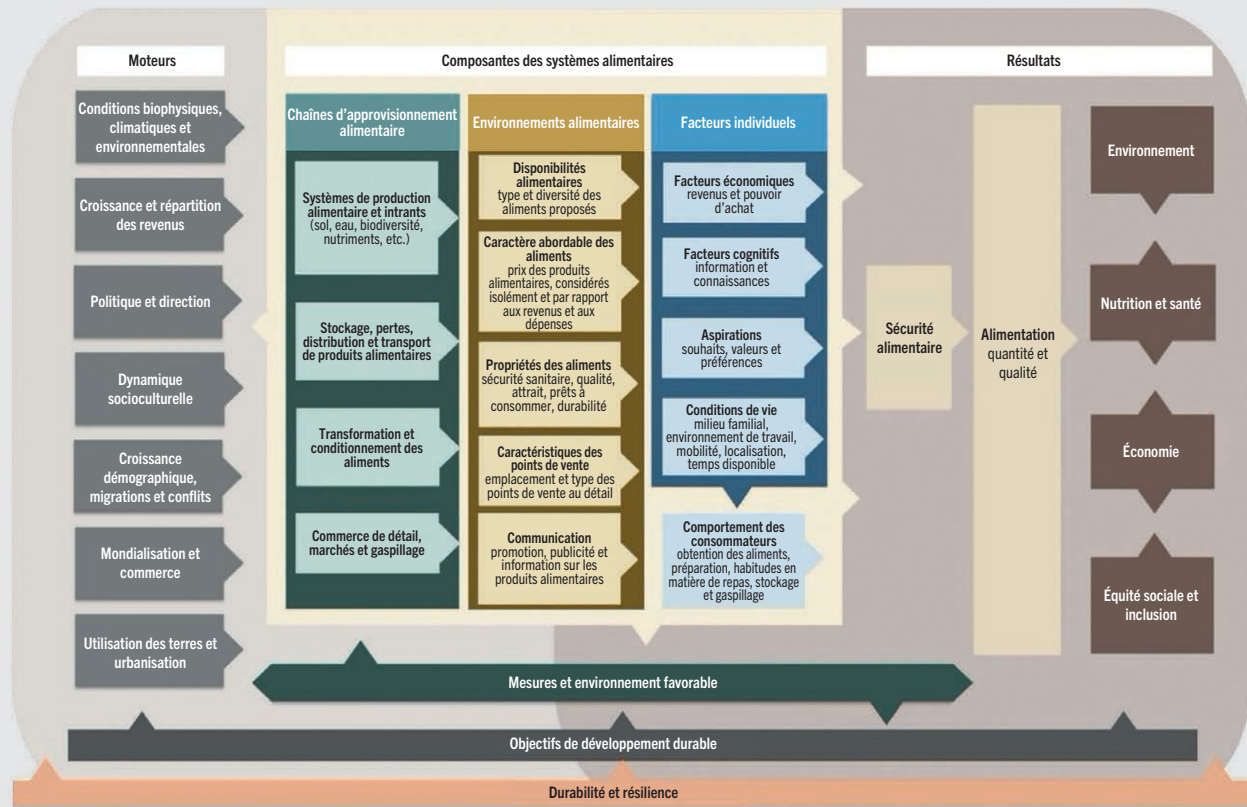
7.1

INDICATEURS ET SOURCES DE DONNÉES

La pertinence de 65 sources de données a été évaluée. Ces sources ont ensuite été classées par type et rattachées à un groupe d'indicateurs plus large (voir la Figure 7). Il convient de noter qu'il s'agit ici simplement de montrer comment poursuivre la collecte de données sur les STI au moyen de ces méthodes dans le cadre de l'élaboration des Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires; l'approche nécessiterait une petite adaptation pour les autres types d'innovations.

Faisabilité commerciale: le premier groupe d'indicateurs est centré sur le concept de faisabilité commerciale – lequel renvoie à la viabilité commerciale de l'idée et à sa capacité de répondre

FIGURE 6 DIAGRAMME CONCEPTUEL DES SYSTÈMES AGROALIMENTAIRES



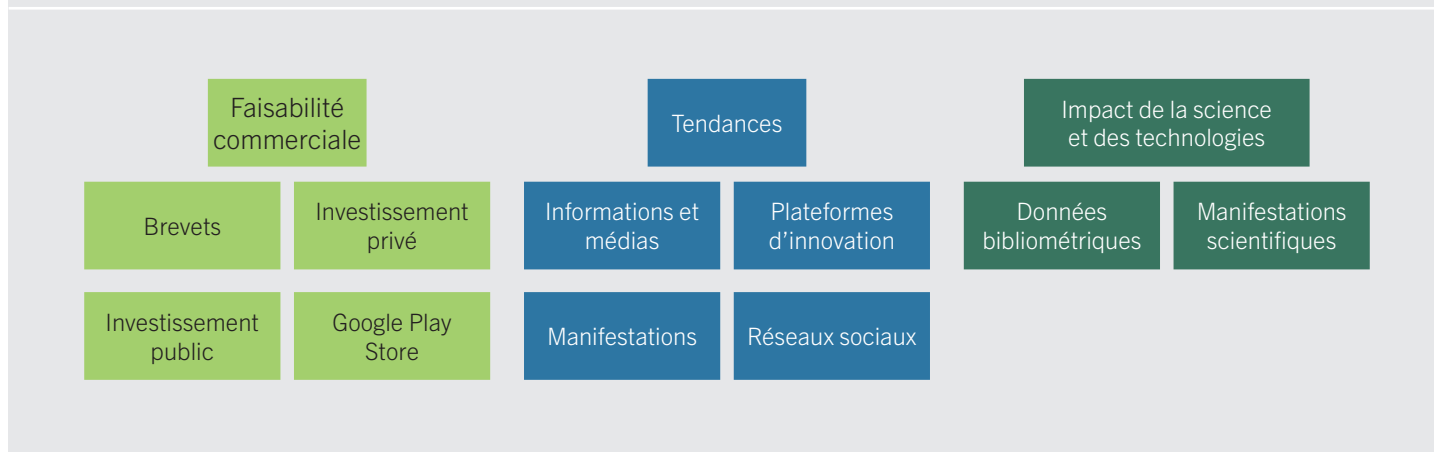
Source: Fanzo *et al.* 2021.

aux demandes des consommateurs ou à tenir le rôle qu'on attend d'elle (Gouvernement du Queensland, 2019, <https://www.business.qld.gov.au/starting-business/planning/idea/feasibility>). On peut évaluer la faisabilité commerciale en se référant à différents types de sources, notamment les données relatives aux brevets et à l'investissement.

- ▶ Les données sur les brevets constituent une importante source d'informations sur l'innovation et sont largement utilisées en tant qu'indicateur de l'innovation (Sampson, 2007). Certains auteurs avancent que le nombre de brevets est un indicateur cohérent et objectif qui peut être utilisé pour mesurer l'innovation et que les données sur les brevets répondent à ces critères de cohérence et d'objectivité (Boone *et al.*, 2019).

- ▶ Les données sur l'investissement public et privé peuvent mettre en lumière des services et des produits émergents ainsi que des avancées en matière de STI pour lesquelles le processus d'idéation n'est pas achevé, mais dont le plan de développement est suffisamment abouti pour mobiliser un peu d'investissement extérieur.
- ▶ Le Google Play Store permet d'étudier des applications dont la faisabilité commerciale est établie puisqu'elles sont disponibles sur une plateforme de distribution publique. Un examen – qui serait le premier du genre – de ces bases de données pourrait permettre de remédier en partie aux problèmes liés à la détection des services informels qui apparaissent dans les PRFI.

Il est possible de repérer facilement les avancées en matière de STI sous cet indicateur en suivant les

FIGURE 7 INDICATEURS ET SOURCES DES DONNÉES

nouveaux brevets, les annonces d'investissements (privés et publics) et leur actualisation, et en explorant les mises à jour sur le Google Play Store afin de détecter les dernières applications ajoutées. Par ailleurs, les nouvelles informations concernant la faisabilité commerciale seront étroitement liées à la manière dont les données et les renseignements relevant des indicateurs ci-après seront exploités – les sources d'informations qui font apparaître de nouveaux investissements majeurs dans les STI pourraient également figurer dans les sources de données prises en compte pour l'indicateur relatif aux tendances, par exemple.

Tendances: le deuxième groupe de sources de données peut être classé sous la catégorie plus large des tendances. Il s'agit de sources textuelles qui fournissent des renseignements sur les innovations, les technologies et la science dans le domaine agrotechnologique. L'extraction, le regroupement et l'analyse des dernières actualités dans ce domaine peuvent livrer les toutes dernières informations sur les technologies agroalimentaires actuellement disponibles sur le marché, informations que l'on peut combiner aux indicateurs d'autres groupes pour prendre des décisions au sujet des solutions STI émergentes qui sont examinées par les experts et les organisations.

- Les plateformes d'innovation sont un excellent indicateur de substitution pour repérer les tendances des STI. Elles offrent un espace consacré à l'apprentissage et au changement qui sert d'outil à l'appui des processus d'innovation

ouverte. Elles réunissent en un même endroit différents acteurs de l'écosystème qui cherchent des solutions ou s'emploient à atteindre des objectifs communs (Tui *et al.*, 2013).

Le suivi de cet indicateur nécessite avant tout un examen régulier des actualités, des médias et des nouveautés en ce qui concerne les événements ou plateformes consacrés à l'innovation, qui permette de s'assurer de la variété des sources et contenus pris en compte dans les Perspectives. Il peut également être utile de consulter les ordres du jour des manifestations de haut niveau pour y rechercher des informations sur les nouvelles tendances des STI. Toutes les revues de médias réalisées pour l'élaboration des Perspectives seront effectuées sur consultation d'un spécialiste de la communication ou des médias, afin que les résultats et les recherches soient exploitables (prise en compte de l'importance relative, des perceptions, élimination des doubles comptages et ciblage des recherches, par exemple).

Impact de la science et des technologies: les sources de données entrant dans cette catégorie sont principalement liées à la recherche scientifique sur l'impact des technologies en rapport avec les systèmes agroalimentaires, aux évaluations de l'adoption des technologies et aux analyses des écosystèmes de données et écosystèmes numériques. Sott *et al.* (2021), par exemple, constatent que la réalité augmentée est une technologie encore peu envisagée dans l'agriculture alors qu'elle est largement utilisée

dans d'autres secteurs tels que les mégadonnées, les chaînes de blocs, et la simulation ou la modélisation mathématique. En outre, Silva et Silva-Mann (2021) ont procédé à une analyse bibliométrique afin d'examiner les principaux sujets liés à l'innovation technologique agricole qui ont pris le plus d'importance dans les publications scientifiques et de classer les techniques permettant de couvrir une longue période et de développer les connaissances sur les technologies et les indicateurs scientifiques.

À l'instar de la faisabilité commerciale et des tendances, cet indicateur nécessite un plan de suivi cohérent qui permette de réunir et d'actualiser les informations sur l'impact de la science et des technologies. En exploitant les sources d'actualités et les médias, en extrayant les informations publiées par les éditeurs et les revues, en assistant à des conférences et des manifestations et en étudiant leurs supports de communication, on peut détecter et suivre de nouvelles informations sur l'impact de la science et des technologies.

7.2 ACCÈS AUX DONNÉES ET DISPONIBILITÉ DE SOURCES DE DONNÉES

L'accès est un aspect essentiel pour tous les types de données – structurées, semi-structurées et non structurées – utilisées dans les Perspectives, mais la gestion de ressources en ligne nécessite des moyens importants en matière d'infrastructure et de curation. Des cas d'utilisation faisant intervenir des modèles de TLN et d'apprentissage automatique pour détecter des innovations à partir de bases de données universitaires et de plus de 25 sources de littérature grise ont déjà fait l'objet d'essais et d'une validation dans une collection spéciale fondée sur le travail de [Ceres2030: Sustainable Solutions to End Hunger](#) et publiée par Nature Research en 2020 (Acevedo *et al.*, 2020; Baltenweck *et al.*, 2020; Bizikova *et al.*, 2020; Liverpool-Tasie *et al.*, 2020; Maïga *et al.*, 2020; Piñeiro *et al.*, 2020; Porciello *et al.*, 2020; Ricciardi

et al., 2020; Stathers *et al.*, 2020). L'équipe des Perspectives a expérimenté ces méthodes avec diverses nouvelles sources de données utiles pour mettre en évidence l'innovation tout au long du cycle des STI, notamment les brevets, les sources d'actualités, les réseaux sociaux et d'autres données non structurées.

Une interface de programmation d'applications (API) est un logiciel qui fait fonction d'intermédiaire pour permettre à deux applications de dialoguer. Les API ouvrent l'utilisation des données et des fonctionnalités des applications à des tierces parties. Ces services précisent souvent que les données sont régulièrement actualisées (parfois, comme dans le cas des données météorologiques, en temps réel), que la réutilisation et l'intégration des données dans d'autres programmes sont autorisées et que les données seront extraites sous un format standard – autant de points importants lorsque l'on cherche le moyen d'exploiter plusieurs sources de données en vue d'une analyse en continu.

Une série de consultations rapides a été réalisée, à titre de preuve de concept, afin de recueillir des suggestions d'endroits où trouver des données sur les tendances sectorielles dans les PRFI et des recherches sur des activités similaires axées sur la mise en évidence de processus de curation de données relatives à l'innovation et aux technologies dans le domaine agricole. Au total, 65 sources possibles dotées d'API (annexe D) ont été recensées, et l'on a cherché à déterminer comment ces nouvelles sources de données pourraient être exploitées dans l'avenir, parallèlement aux connaissances livrées par la littérature universitaire et la littérature grise, à l'aide de méthodes similaires de TLN. Au bout du compte, 19 d'entre elles ont été sélectionnées après évaluation:

- i. de la possibilité d'utiliser des techniques de TLN;
- ii. de l'accessibilité des données (service payant ou non);
- iii. de la manière dont les données sont présentées et répertoriées;
- iv. de la fréquence d'actualisation de la source;
- v. des opinions personnelles/professionnelles sur la qualité des données.

Le **Tableau 3** présente un ensemble (non exhaustif) de sources que l'équipe des Perspectives peut exploiter, et indique les problèmes d'accès à anticiper s'agissant des abonnements nécessaires et de l'absence éventuelle d'API. Il est important de noter qu'un grand nombre des sources associées à des abonnements ou à des sites web nécessiteront un contrôle supplémentaire et des ressources pour le pipeline de données d'entrée et le processus d'entraînement des données. Dans le cadre du processus d'évaluation, l'équipe a vérifié si les sources de données disposaient d'une API et, dans le cas contraire, si elles autorisaient le «web scraping» (opération consistant à créer un code personnalisé pour extraire les informations des sites web). Parmi les autres critères d'évaluation figuraient la mise à disposition de métadonnées, la fréquence d'actualisation des sources et la possibilité de recourir à l'intelligence artificielle pour en tirer des informations. L'annexe D donne davantage d'informations sur les ressources.

7.3 RÉPÉRAGE DE TECHNOLOGIES ÉMERGENTES À PARTIR DE DONNÉES NON STRUCTURÉES À L'AIDE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Il est essentiel de détecter rapidement les technologies émergentes dans l'agriculture pour pouvoir concevoir et adapter les nouveaux marchés, les politiques, la R-D, les programmes, les infrastructures et l'enseignement. Ce processus de détection offrira davantage de possibilités de se pencher sur leur impact potentiel. On sait bien qu'il faut des années pour mettre au point les innovations issues de la recherche et que les avantages directs et indirects ne se font pleinement sentir que longtemps après leur introduction.

En outre, les innovations sont souvent conçues à une époque qui pourra sembler bien différente du monde dans lequel elles seront finalement déployées — il faut généralement jusqu'à 20 ans pour que les technologies appliquées dans les systèmes agroalimentaires commencent à produire un impact mesurable à grande échelle. Plus on pourra faire apparaître des informations pertinentes sur ce à quoi peut ressembler une innovation technologique à ses premiers stades, mieux on pourra préparer l'avenir.

La détection des technologies émergentes dans l'univers en expansion constante des données non structurées disponibles nécessite un processus en plusieurs étapes: compréhension du problème, recherche et nettoyage des données à utiliser, création ou sélection des outils pour l'analyse, exécution de l'analyse, étalonnage et réglage du modèle.

Ce processus nécessite de synthétiser l'ensemble des informations scientifiques et techniques et des éléments de communication disponibles, qui sont disséminés dans une grande diversité d'études, d'articles de presse, de documents de brevet, de rapports, ou autres. L'opération peut être difficile compte tenu de l'étendue et de la diversité des recherches scientifiques, qui doublent à peu près tous les neuf ans (Bornmann et Mutz, 2015).

De nouvelles approches — l'intelligence artificielle, par exemple — peuvent aider à dégager des motifs et à établir des prévisions en vue d'éclairer des questions ouvertes et des analyses (voir la **Figure 8**). Les applications telles que l'apprentissage automatique et la vision artificielle, souvent utilisées pour accélérer le traitement des mégadonnées, sont particulièrement adaptées à un certain nombre de tâches, comme le classement et le regroupement des données, la reconnaissance d'image et la reconnaissance vocale, l'analytique prédictive et l'extraction d'informations. Le TLN est un domaine de l'apprentissage automatique dans lequel des processeurs de calcul sont entraînés afin qu'ils comprennent le langage écrit ou parlé.

Des modèles d'intelligence artificielle développés par Havos Inc., une start-up issue de l'Université Cornell, ont été utilisés dans ce cadre. Ces approches ont permis d'accélérer le processus

TABLEAU 3A SOURCES DE DONNÉES RELATIVES À LA FAISABILITÉ COMMERCIALE

Source	Description
Faisabilité commerciale	
Jeu de données public Google Patents	Le jeu de données public Google Patents est une série de tables de base de données compatibles BigQuery émanant des pouvoirs publics, de la recherche et des entreprises privées qui permet de réaliser des analyses statistiques des données sur les brevets.
Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (OMPI)	L'OMPI est l'une des 15 institutions spécialisées des Nations Unies. Elle permet aux chercheurs d'accéder sur son site web à un grand nombre de sources de données sur les brevets et la propriété intellectuelle.
Base REGPAT de l'OCDE	La base de données REGPAT de l'OCDE regroupe, par région, les demandes de brevets effectuées auprès de l'Office européen des brevets (OEB) et au titre du Traité de coopération en matière de brevets (PCT). Les dépôts de brevets sont rattachés à plus de 5 500 régions au moyen des adresses des inventeurs/demandeurs.
Wellspring Worldwide	Wellspring est une grande entreprise qui propose des solutions de transfert de technologies dans le monde entier. Wellspring a racheté Flintbox, la plus grande plateforme d'échange en ligne de technologies embryonnaires.
AgFunder	AgFunder est une entreprise de capital-risque dans le domaine agrotechnologique; elle publie chaque année un rapport sur l'investissement dans les secteurs technologiques agroalimentaires.
S2G Ventures	Ce rapport, qui suit les tendances de fond, la dynamique des marchés et les nouvelles innovations au service de systèmes alimentaires durables, est élaboré par une société d'investissement dans le secteur agroalimentaire.
Pitchbook	PitchBook est une entreprise basée à Seattle spécialisée dans les données financières et les logiciels connexes. La base de données, en accès payant, fournit des informations et des services d'analytique décisionnelle sur l'écosystème du capital-risque et des start-up dans le monde entier.

TABLEAU 3B SOURCES DE DONNÉES RELATIVES AUX TENDANCES

Source	Description
Tendances	
Sommet mondial de l'innovation agrotechnologique (22-23 mars 2022)	Ce sommet est le rendez-vous annuel de l'écosystème agrotechnologique mondial. Il permet aux entreprises du secteur agroalimentaire, aux investisseurs et aux pionniers du secteur des technologies d'échanger des idées, de trouver des sources d'inspiration et de rechercher de futurs partenaires.
Techcrunch	Revue fondée en juin 2005 consacrée aux entreprises de haute technologie et aux start-up.
Innovations News Network	Publication numérique qui fournit quotidiennement des informations actualisées sur la recherche mondiale, les avancées émergentes de la science, les politiques et l'innovation.
Succesful Farming (SF) – Technology News	Site web d'actualités en ligne. Sa section consacrée à l'actualité technologique met en relief les nouveaux produits dans le domaine de l'agriculture de précision ainsi que les toutes dernières technologies agricoles qui peuvent aider les agriculteurs à gérer plus efficacement leurs exploitations.
Contxto	Contxto est un site web de premier plan en Amérique latine qui publie des actualités et des données sur les technologies, les start-up et les entreprises de capital-risque. Cette entreprise de médias spécialisés dans les technologies et les données couvre les réussites entrepreneuriales et technologiques les plus pertinentes, du Mexique à l'Argentine.
Food and Farming Technology	Site web d'actualités en ligne qui présente les avancées technologiques en matière de culture, de récolte, de transport, de fabrication et de commerce de détail. Il présente chaque jour à un public mondial des solutions durables dans les domaines de l'agriculture, de la production alimentaire, des machines, des logiciels, de l'électronique, de l'ingénierie et des services financiers.
Agri Tech Tomorrow	Revue professionnelle en ligne qui couvre les produits, entreprises, actualités, articles et manifestations dans le secteur des technologies agricoles et de l'agriculture de précision, en mettant l'accent sur les nouvelles technologies susceptibles d'être commercialisées.

TABLEAU 3C SOURCES DE DONNÉES RELATIVES À L'IMPACT DE LA SCIENCE ET DES TECHNOLOGIES

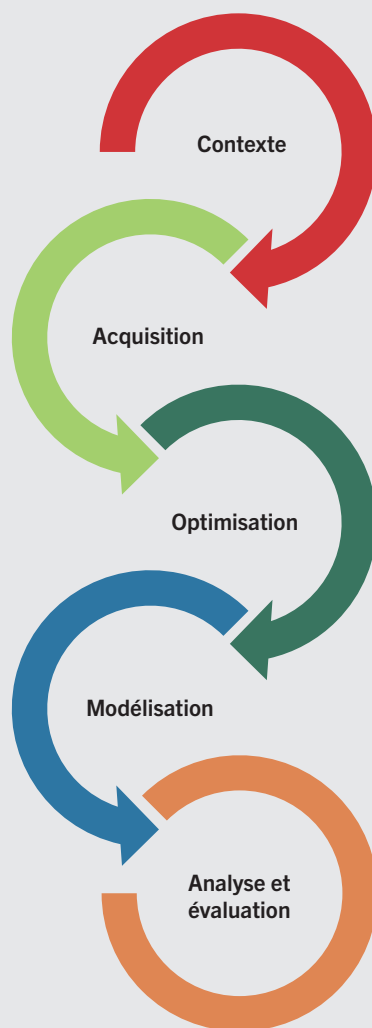
Source	Description
Impact de la science et des technologies	
Tableau de bord du Département de l'agriculture des États-Unis sur la stratégie en matière de recherche	Le secteur Recherche, éducation et économie du Département de l'agriculture des États-Unis dirige au niveau fédéral les activités visant à faire progresser les connaissances scientifiques relatives à l'agriculture.
Institut national de recherche agronomique brésilien (EMBRAPA)	Radar Agtech 2020/2021 est la deuxième édition d'une cartographie des technologies agricoles et alimentaires brésiliennes. Le document fournit des informations quantitatives et qualitatives essentielles sur l'environnement national de l'innovation agricole.
Autorité israélienne pour l'innovation	Plateforme d'innovation ouverte sur laquelle le Gouvernement israélien lance des appels à collaboration à des projets/solutions spécifiques.
Invest in Bavaria	Invest in Bavaria est l'agence d'aide à l'implantation d'entreprises de l'État libre de Bavière et de Bayern International GmbH. Elle propose une carte interactive de l'ensemble des entreprises, pôles d'activité et start-up de la Bavière (Allemagne).
Université de l'Illinois à Urbana-Champaign	Liste, établie de manière participative, des start-up fondées par des personnes ayant étudié à l'Université de l'Illinois.
Département de l'agriculture des États-Unis	Actualités, annonces et blogs du Département de l'agriculture des États-Unis sur les technologies agricoles.
Institute of Quantitative Social Science de l'Université Harvard	Deux documents de recherche comprenant des données sur les brevets ont été publiés par cet institut.
DigitalFoodLab	DigitalFoodLab est une agence de conseil en stratégie et perspectives dans le domaine des technologies alimentaires au service des entreprises de l'industrie de l'alimentation et des boissons.

d'examen systématiques et exploratoires, de repérer les incidences et les lacunes au regard des plans stratégiques des organisations, à partir de leurs propres bases de données factuelles et documents de projet, et de faciliter la détection de fausses informations sur la réticence face à la vaccination à partir des sources publiées sur les réseaux sociaux (Porciello *et al.*, 2020, Porciello *et al.* 2021a, Porciello *et al.*, 2021b). L'une des principales fonctions de ces modèles est la détection des interventions dans les systèmes agroalimentaires à partir de texte non structuré: des phases précises sont reconnues (technologies, programmes sociaux ou économiques, ou services écosystémiques spécifiques), puis organisées au sein de la taxonomie des interventions. Grâce aux modèles de transformer NER-BERT de pointe, le modèle n'a pas besoin d'avoir déjà rencontré l'intervention pour être capable de la détecter (Liu *et al.*, 2021). Outre la détection des avancées émergentes en matière de STI, il est possible de procéder, avec un réglage minimal des modèles, à une extraction d'éléments NER (named-entity recognition – reconnaissance d'entités nommées) supplémentaires, tels que des organisations,

des pays, des populations et des plantes et des animaux, parallèlement aux interventions. Cela permet de créer un univers de données structuré là où il n'en existait aucun auparavant.

Les interventions et les avancées émergentes en matière de STI présentent de fortes similitudes; de ce fait, des quantités très peu importantes de données d'entraînement (par source) seront nécessaires pour régler les modèles en vue de leur utilisation dans les Perspectives. La faisabilité et les possibilités d'adaptation de l'apprentissage automatique aux fins de détection des technologies émergentes dans le cadre des Perspectives ont été testées à l'aide de sources et de structures de données avec lesquelles ces modèles n'avaient encore jamais travaillé, notamment des brevets, des sources Twitter et des sources d'actualités web sans API. D'autres sources mentionnées dans le tableau relatif aux indicateurs, telles que l'investissement privé individuel/les rapports de haut niveau, les plateformes d'innovation, les données sur l'investissement public et Google Play ont été utilisées avec succès dans le pipeline et ont été évaluées au moyen de paramètres similaires

FIGURE 8 UTILISATION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE



(interventions dans le cadre de l'agriculture numérique, par exemple). Les seules ressources qui n'ont pas fait l'objet d'essais complets sont les bases de données d'investisseurs privés, tels que Crunchbase et Pitchbook, auxquelles l'accès est payant. Si un accès et une autorisation d'utilisation étaient octroyés, leurs bases de données, qui ont une structure semblable à celle des autres bases de données d'indexation, pourraient être intégrées relativement facilement.

7.4 EXAMEN

Le regroupement de données réelles à partir de diverses sources offre un moyen prometteur et économiquement intéressant de suivre et d'évaluer les technologies émergentes. Le potentiel de l'intelligence artificielle est sous-utilisé en ce qui concerne la constitution de grands jeux de données et de cadres d'indicateurs et l'harmonisation de

ces derniers avec des cadres récents ou d'une autre nature. S'agissant des Perspectives, il s'agit surtout d'assurer une coordination technique continue entre des programmes tels que les ASTI et le portail Innovative Food Systems Solutions (Solutions innovantes pour les systèmes alimentaires).

Cette preuve de concept par l'évaluation d'un sous-ensemble des données disponibles sur les avancées émergentes en matière de STI montre l'intérêt d'utiliser l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique pour les Perspectives. Elle permet un examen régulier des informations au moyen d'un processus de regroupement automatisé de données.

L'approche est modulable. De nouvelles sources de données pourront être ajoutées au pipeline à mesure que les Perspectives continueront d'évoluer. Cette approche a été testée à l'aide de données non structurées issues de différentes sources, et a permis de gagner du temps et d'économiser les ressources allouées à la recherche tout en accroissant l'objectivité et la valeur analytique des données réunies et évaluées. Partant, une approche fondée sur l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique est recommandée pour faciliter l'élaboration des futures Perspectives.

Les premières grandes étapes consistent à repérer et à évaluer les sources intéressantes et à les intégrer dans un pipeline, et à démontrer la faisabilité de l'utilisation de l'apprentissage automatique pour la modélisation des sujets et l'extraction d'informations. Pour obtenir le niveau de résolution souhaité, il faudra toutefois consacrer des ressources supplémentaires au réglage et à l'entraînement du modèle.

Enfin, comme on peut l'attendre d'un projet pilote générique comme celui-ci, qui n'est pas ciblé sur un thème en particulier, les sujets recensés correspondent à des descriptions générales plutôt qu'à un ensemble précis d'innovations émergentes. Il en sera moins ainsi dans les prochaines Perspectives, qui auront des thèmes ou une portée géographique plus spécifiques. La preuve de concept exposée ici se limite aux étapes qui seront suivies, et montre comment on peut gagner du temps tout en augmentant la diversité et le volume des données relatives aux STI qu'il est possible d'examiner.

7.5 AMÉLIORER LE RECOURS À L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LE CADRE DES PERSPECTIVES

L'utilisation de l'intelligence artificielle est associée à certaines limites; celles-ci sont exposées ci-après, avec les corrections qu'il est possible d'apporter en cours de route.

Premièrement, les données de grande qualité issues de sources telles que les brevets ont tendance à mettre en relief les indicateurs relatifs aux STI qui sont axés sur les technologies de stockage et de distribution, de transformation et de conditionnement, parallèlement à certaines informations sur les innovations en matière de qualité et de sécurité sanitaire des aliments et en matière de commerce de détail et de marché, tandis que les médias et les réseaux sociaux semblent mettre en avant les tendances et les préoccupations sociales. Ces résultats sont présentés à l'annexe D.

Ce point est particulièrement important car les jeux de données ne sont pas neutres; ils sont le reflet de normes sociales et de politiques données qui peuvent toucher spécifiquement les groupes marginalisés. Il convient de prendre certaines mesures pour réduire les biais à la fois dans les jeux de données et dans le processus d'entrée/sortie du modèle: rétroaction régulière à partir de l'étiquetage réalisé par des experts sensibilisés aux questions de diversité, d'équité et d'inclusion, et ajout en continu de nouvelles sources de données. La boucle de rétroaction peut permettre d'améliorer les performances et l'exactitude du modèle de façon continue tout en réduisant les biais. L'élaboration des Perspectives doit être

totallement conforme à l'Appel de Rome pour une éthique de l'intelligence artificielle¹⁸.

Les modèles d'apprentissage automatique sont entraînés en amont à l'aide d'énormes jeux de données. Une attention de plus en plus grande est prêtée à la sensibilisation aux biais connus de l'apprentissage automatique et à leur recensement. Lorsque les modélisateurs utilisent ces jeux de données d'apprentissage, ils doivent être conscients des problèmes potentiels, et effectuer des corrections en cours de route en intégrant des données d'entraînement supplémentaires susceptibles d'apporter des améliorations. Les méthodes d'apprentissage automatique peuvent mettre en évidence des motifs qui ne seraient pas détectés par le cerveau humain, mais l'«interprétabilité» de ces derniers dépend de la connaissance du domaine (Murdoch *et al.*, 2019). L'apprentissage automatique trouvera presque toujours un «motif», mais cette découverte ne permet pas en elle-même de savoir si ce motif fournira ou non des indications (Bishop et Nasrabadi, 2006; Marsland, 2015).

Pour terminer, il convient d'améliorer la fiabilité globale de l'apprentissage automatique par l'entraînement. Cet entraînement est généralement effectué par des humains, qui fournissent de petites quantités d'informations en retour en étiquetant les données dans le cadre de ce que l'on appelle l'approche d'apprentissage supervisé. Pour déterminer la fiabilité du processus, on extrait des données du modèle et on les divise en lots de manière aléatoire; certaines données sont examinées et corrigées, d'autres sont mises de côté en vue de tests. Ce processus est décrit à l'annexe D.

Une bonne stratégie d'exploitation des données, qui intègre diverses sources, peut contribuer à réduire les biais dans les entrées et dans les sorties. L'apprentissage semi-supervisé est un autre moyen de réduire les risques: les experts humains examinent et corrigent des données à des intervalles aléatoires et renvoient les données corrigées dans le modèle. L'un des points importants est de veiller à ce que les correcteurs humains soient bien sensibilisés aux questions de diversité, d'équité et d'inclusion et aient été formés à repérer les problèmes dans les jeux de données et les sorties du modèle.

18 <https://www.romecall.org/>.



KIRGHIZISTAN

Des travailleurs mettent des plants en terre et récoltent des légumes dans une serre dans le village d'Uchkun, à 25 km de Bichkek.

CHAPITRE 8

SOLUTIONS MATURES DU CHAMP DES SCIENCE, TECHNOLOGIE ET INNOVATION

Il existe potentiellement une grande diversité de solutions STI matures, compte tenu du rythme de l'innovation et de la large adoption dans les pays. Dans les Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires, les catégories utilisées pour classer ces solutions arrivées à maturité sont la production primaire; les technologies après récolte; la transformation, la fabrication et le conditionnement; la main-d'œuvre; et l'environnement alimentaire des consommateurs. Il convient de noter que les avancées matures en matière de STI peuvent comprendre non seulement de nouveaux produits, mais aussi des innovations politiques, institutionnelles, financières ou encore sociales. Dans chacun des domaines présentés dans le [Tableau 4](#), de nombreux éléments témoignent du large éventail de possibilités d'aborder les problèmes divers et propres au contexte rencontrés dans les systèmes agroalimentaires (Herrero *et al.*, 2020). Bien que non exhaustifs, ils correspondent aux principaux domaines dans lesquels des collectes de données ont été effectuées pour l'ensemble des solutions STI au service des systèmes agroalimentaires (Groupe mondial d'experts sur l'agriculture et les systèmes alimentaires au service de la nutrition, 2016; Groupe de la Banque mondiale, 2019). Le suivi des innovations arrivées à maturité pourrait offrir un éclairage sur les questions de durabilité et d'équité dans les systèmes agroalimentaires, mais il faudrait réaliser une analyse supplémentaire pour évaluer l'utilisation et la portée de ces avancées dans différents contextes, auprès de différents utilisateurs et dans différentes économies politiques. On retiendra l'importance des principes FAIR (Findable [facile à trouver], Accessible [accessible], Interoperable [interopérable], Reusable [réutilisable]) applicables aux données, tout particulièrement, peut-être, lorsqu'il s'agira d'étudier la diffusion des solutions STI abouties.

Un inventaire des types de données rendant compte de l'éventail de technologies et autres innovations que l'on peut raisonnablement considérer comme arrivées à maturité pour ce qui est de leur développement et de leur adoption a été réalisé. Il s'agit – ou du moins il devrait s'agir – de la base la plus reconnue proposant un important volume de données aux fins du suivi de l'adoption et de l'utilisation des avancées des STI au service des systèmes agroalimentaires, dans les différents pays et au fil du temps. Il demeure toutefois d'importantes lacunes de données, et la diffusion de la plupart des avancées en matière de STI reste incomplète. La majeure partie des sources de données qui ont été considérées comme pertinentes, accessibles et de grande qualité concernaient la production primaire. En revanche, aucune des sources de données ne répondait aux critères définis dans les Perspectives pour les catégories relatives à l'environnement alimentaire des consommateurs et aux comportements de ces derniers. Dans les catégories correspondant aux technologies après récolte, à la transformation et à la main-d'œuvre, seules trois des sources de données étudiées ont été considérées comme exploitables au regard des critères d'inclusion (présentés au chapitre 5).

Pour rappel, six critères de base ont été définis pour la prise en compte d'une série de données dans de futures Perspectives:

1. On dispose de données au niveau des pays, qui permettent de procéder à une analyse ventilée au niveau international.
2. On dispose de données utiles récentes, ce qui signifie que la série comprend au moins un point de données de 2016 à aujourd'hui pour un grand nombre de pays (plus de 50).
3. La série de données est inclusive, ce qui signifie une forte couverture (pas nécessairement universelle) des PRFI.

TABEAU 4 INVENTAIRE DES DONNÉES SUR LES SOLUTIONS MATURES DU CHAMP DES SCIENCE, TECHNOLOGIE ET INNOVATION POUR DIFFÉRENTES COMPOSANTES DES SYSTÈMES AGROALIMENTAIRES

Production primaire	Technologies après récolte	Transformation, fabrication et conditionnement	Main-d'œuvre	Environnement alimentaire des consommateurs	Alimentation et nutrition
Semences améliorées (1,1,1)	Sacs de stockage améliorés (2,2,0)	Réglementation de l'enrichissement des aliments (1,1,1)	Protections liées à la santé et à la sécurité au travail	Assistance alimentaire au moyen de supports électroniques (3,3,0)	Acceptation des insectes
Engrais (2,2,2)	Équipements de stockage améliorés	Réglementation de la reformulation des produits alimentaires (5,2,1)	Emploi de la main-d'œuvre agricole (1,1,0)	Étiquetage nutritionnel	Applications mobiles de suivi de l'alimentation
Pesticides (2,2,1)	Bourses de marchandises	Conditionnement durable/recyclable	Lois sur le salaire minimum (3,3,1)	Épiceries modernes et supermarchés (1,1,1)	
Labour réduit (2,2,1)	Production d'agrogazole (1,1,1)	Transport (1,1,0)	Travail forcé	Paiement sans numéraire dans le commerce de détail (1,1,0)	
Agriculture verticale	Chaîne d'approvisionnement et infrastructures (1,1,1)	Élimination économe en énergie des déchets (1,1,0)		Applications de commercialisation de la ferme à la table	
Production de viande et de protéines d'origine végétale/cultivées in vitro (1,1,1)	Accès à internet (2,1,2)			Programmes de récupération des pertes de produits alimentaires	
Terres cultivées irriguées (2,2,1)				Technologie de détection alimentaire	
Aquaculture (2,2,1)					
Santé/génétique/nutrition des animaux (2,2,1)					
Additifs fourragers					
Services de vulgarisation (1,1,0)					
Machines agricoles de précision (1,1,0)					
Technologie laser de nivellement du sol					
Terres cultivées protégées par une culture de couverture (3,3,0)					
Protéines d'origine végétale (3,3,0)					
Irrigation par pompage (2,1,0)					
Consommation d'énergie (1,1,0)					
Ressources hydriques et qualité de l'eau améliorées (3,2,0)					
Qualité des sols améliorée (3,2,0)					
Forêts (1,1,0)					
Investissements matériels (1,1,1)					
Productivité totale des facteurs (1,1,1)					

Légende

- Comprend un ou plusieurs indicateurs pertinents
- Ne comprend aucun indicateur pertinent
- Aucun résultat à l'issue des recherches

Comprend un ou plusieurs indicateurs pertinents

Ne comprend aucun indicateur pertinent

Aucun résultat à l'issue des recherches

Note: les chiffres entre parenthèses correspondent respectivement aux nombres d'indicateurs, de séries de données et d'indicateurs retenus. Une description détaillée des indicateurs figure à l'annexe A.

4. La source de données est fiable: elle s'appuie sur une théorie et une pratique scientifiques reconnues, utilise des processus d'examen par les pairs et provient d'une organisation respectée, crédible, etc., ce qui exclut les groupes de pression ou le matériel journalistique.
5. Il existe une correspondance conceptuelle claire entre les séries de données et les intrants des STI au service des systèmes agroalimentaires.
6. La source de données offre une définition claire, crédible, interprétable et sensée de la variable.

Il fallait également que les données soient gratuitement accessibles au public.

Pour chaque série mise en évidence, des données ont été collectées pour préciser la variable, son nom et sa définition, sa source, le nombre de pays pour lesquels des observations étaient disponibles, le nombre de pays pour lesquels on disposait au moins d'une observation sur la période allant de 2016 à aujourd'hui et toute autre information à retenir sur cette variable et cette source de données en particulier¹⁹. On a ensuite déterminé si la série de données répondait aux six critères d'inclusion mentionnés ci-dessus. Dans l'affirmative, la série a été retenue en vue de l'établissement des Perspectives. Une deuxième évaluation a été effectuée pour corroborer, affiner ou remettre en question la première, et obtenir ainsi une double confirmation de la qualité suffisante de la série de données au regard des critères établis. L'analyse n'a pas été fondée sur les résultats liés aux systèmes alimentaires car il serait difficile d'établir des relations causales entre les avancées en matière de STI et des résultats donnés tels que la nutrition, la durabilité environnementale, les moyens d'existence, etc.

Pour les solutions STI matures, 57 indicateurs et 50 séries de données ont été recensés à partir de diverses sources, notamment la base de données FAOSTAT, les bases de données de l'OCDE et de la Banque mondiale et d'autres bases des secteurs

19 Les variations de la même variable sous-jacente sont considérées comme une même série de données. Autrement dit, les valeurs en dollars courants, en dollars constants et en monnaie locale courante d'une mesure (dépenses de RD agricole, par exemple) sont toutes traitées comme des variantes d'une même série de données, tout comme les variantes des mesures qui reflètent l'intensité par rapport à la production agricole, à la population ou à la superficie des terres, par exemple. Toutes dérivent d'une même mesure principale – à savoir les dépenses nominales de RD agricole dans un pays au cours d'une année. Étant donné le grand nombre de transformations de la variable, seule la variable racine est retenue.

public et privé. Comme le montre le [Tableau 4](#), des jeux de données exploitables ou répondant aux critères d'inclusion n'ont été trouvés que dans 17 sous-domaines des systèmes agroalimentaires seulement. La majeure partie de ces jeux de données relevaient des catégories «production primaire» et «transformation, fabrication et conditionnement». Un seul jeu de données était exploitable dans la catégorie «environnement alimentaire des consommateurs». Sur les 57 indicateurs, seuls 17 ont été considérés comme répondant aux critères définis pour les Perspectives. Dans la catégorie «production primaire», plusieurs jeux de données étaient hébergés par la FAO, notamment ceux relatifs à l'utilisation de pesticides et d'engrais, aux terres prévues pour l'agriculture et à l'aquaculture. Certains jeux de données portaient sur les protéines d'origine végétale et les protéines de substitution ainsi que sur l'agriculture en environnement contrôlé – des domaines technologiques qu'il est intéressant d'observer. En ce qui concerne l'après-récolte, l'OCDE dispose d'un jeu de données sur la production d'agrogazole. Plusieurs bases de données sont consacrées aux technologies liées à l'enrichissement et à la reformulation de produits alimentaires, et la FAO propose deux jeux de données sur le transport et l'élimination des déchets. WageIndicator, l'OCDE et l'Organisation internationale du Travail (OIT) fournissent des jeux de données relatifs aux lois sur le salaire minimum – il n'existe pas de jeux de données ni de données concernant les aspects liés à la demande dans les systèmes agroalimentaires, ce qui témoigne de la nécessité d'augmenter la R-D pour suivre l'évolution des diverses technologies mises en œuvre dans ces domaines. La majeure partie de l'ajout de valeur a lieu après la sortie de l'exploitation (Yi *et al.*, 2021), or la plupart des données portent sur la production primaire (sur l'exploitation)²⁰.

Les lacunes de données sur les STI sont importantes. Elles sont notamment flagrantes dans les composantes des systèmes agroalimentaires situées après la sortie de l'exploitation. Le manque de bases de données et d'indicateurs est notable en

20 De nouveaux jeux de données apparaissent de temps à autre dans le cadre des activités de divers groupes de recherche; ils peuvent être utiles, du moins temporairement, mais il manque une plateforme institutionnelle qui assurerait une maintenance des données pour actualiser les séries. On peut citer par exemple le jeu de données de Ludemann *et al.* (2022) sur l'application d'engrais sur les cultures par pays (publié après la rédaction du présent rapport).

ce qui concerne les données sur la transformation, le conditionnement et la vente au détail, activités qui peuvent faire appel à tout un éventail de technologies. On trouve par exemple un ensemble de technologies matures dans les environnements alimentaires – technologies participatives pour le suivi des achats alimentaires, codes QR pour le suivi des ingrédients, interface utilisateur pour la nutrition et étiquetage sur la durabilité environnementale. Il existe également un ensemble de solutions STI liées à l'alimentation, à la nutrition et à la santé, notamment des applications personnalisées de nutrition, et l'on assiste au développement de nouvelles solutions technologiques écologiquement durables. S'agissant des environnements alimentaires formels «en dur», tels que les hypermarchés, les supermarchés et autres commerces de détail en plein développement, les types d'innovations matures destinées aux consommateurs sont de plus en plus nombreux mais ne font pas l'objet d'un suivi systématique (Downs *et al.*, 2020). Cependant, la plupart de ces technologies abouties destinées aux consommateurs sont hors de portée dans les zones à faible revenu. On observe également des lacunes dans les solutions STI en ce qui concerne l'interface avec les politiques, les écosystèmes et les institutions, celles liées à l'innovation financière, et celles qui touchent aux questions de parité et à l'autonomisation. En réalité, très peu d'indicateurs mesurant les avancées en matière de STI peuvent être désagrégés, ce qui rend l'évaluation des inégalités difficile.

Un autre problème tient au fait que l'on ne parvient pas à développer à grande échelle certaines données de base car les plateformes, l'infrastructure et les services de partage de données nécessaires pour stimuler l'utilisation des données – processus de «datafication» – ne sont pas en place. L'accessibilité des données n'est pas nécessairement synonyme d'exploitabilité des données pour tous, dans la mesure où l'utilisation de données pour la prise de décisions requiert une forme ou l'autre d'interopérabilité technologique. Porciello *et al.* (2021a) ont souligné qu'«en raison du manque d'infrastructures et des ressources limitées, la plupart des pays ne peuvent pas donner la priorité à l'établissement et au maintien de ressources en ligne».

Par exemple, les informations sur les variétés de cultures annuelles sont des données précieuses

pour de nombreux acteurs des chaînes de valeur agricoles ainsi que pour les exploitants. Or, actuellement, la plupart des catalogues nationaux de variétés cultivées contenant les données au niveau des pays utilisées par les exploitants agricoles d'Afrique subsaharienne pour sélectionner leurs cultures saisonnières sont encore au format papier. La numérisation des catalogues de cultivars est la première étape à réaliser, mais elle n'offrira pas nécessairement davantage de possibilités de faire progresser l'utilisation de nouvelles variétés. Pour cela, il faudrait qu'une plateforme fournissant des informations sur les variétés et leurs caractères ainsi qu'un inventaire soient reliés aux chaînes d'approvisionnement en semences et/ou aux exploitants agricoles. L'Encadré F donne des informations sur les potentialités offertes par la création d'une base de données des variétés cultivées et l'investissement de ressources dans celle-ci²¹. Les Perspectives peuvent aider à définir ces besoins en données et les possibilités pour les parties prenantes de les traiter en priorité.

Pour adopter une approche holistique des systèmes agroalimentaires, plutôt que d'axer l'analyse sur les avancées des STI dans le secteur de la production agricole uniquement, il faudra s'employer à produire des données qui rendent compte de ce type de progrès dans tous les segments des systèmes, ce qui exigera que l'on s'efforce, parallèlement aux Perspectives, de remédier aux principales lacunes de données. La FAO pourrait beaucoup contribuer, avec ses partenaires – ministères gouvernementaux et groupes de recherche indépendants collaborant au niveau mondial, par exemple –, à combler ces lacunes, non seulement en travaillant aux côtés d'entreprises du commerce de détail et d'autres spécialisées dans la transformation et le conditionnement à un meilleur suivi de la manière dont les consommateurs utilisent ces technologies dans les environnements alimentaires, sur leur téléphone portable et à l'interface entre les systèmes de santé et les systèmes alimentaires, mais aussi en mettant en place les infrastructures et les services partagés pour ces données.

21 Nous remercions M. E. Mabaya (Université Cornell et The African Seed Access Index) pour la rédaction de la version originale de l'encadré F du présent rapport.

ENCADRÉ F ARGUMENTS EN FAVEUR D'UNE BASE DE DONNÉES SUR LES VARIÉTÉS CULTIVÉES

Avant qu'une nouvelle variété cultivée puisse être commercialisée, elle doit, dans la plupart des pays, faire l'objet d'une procédure de «mise en circulation de variété», conformément au cadre réglementaire national sur les semences. Cette procédure comprend une évaluation de la variété au moyen d'un système d'essais prédéterminé, un examen approfondi des données par un comité technique chargé de la mise en circulation des variétés, et l'enregistrement de la variété dans un catalogue officiel. Ces essais au niveau national sont conçus pour évaluer les rendements des nouvelles variétés par rapport à ceux des variétés actuellement sur le marché, et démontrer ainsi la «valeur culturelle et d'utilisation». Du fait de la procédure de mise en circulation, les caractéristiques de chaque variété commercialisable ainsi que les résultats pour différents indicateurs de rendement sont consignés dans des registres publics. Des sources de données essentielles restent malheureusement prisonnières du passé. Les informations relatives aux variétés cultivées disponibles sont peu nombreuses et rarement accessibles en ligne; elles sont la plupart

du temps diffusées à des intervalles irréguliers dans les copies imprimées de catalogues nationaux de variétés ou simplement par le bouche-à-oreille. L'équipe chargée des Perspectives dispose là de la possibilité de combler cette lacune en créant une base de données sur les variétés cultivées qui fera office de plateforme en ligne dynamique, multilingue et interactive sur laquelle chacun pourra trouver des informations fiables sur les principales variétés de céréales, de légumineuses, de légumes et d'espèces multipliées par voie végétative dans les PRFI – et peut-être surtout sur des espèces négligées ou sous-utilisées. L'accès à des données complètes et actualisées sur les espèces cultivées améliorées est plus important que jamais dans le contexte de la mise en place de systèmes agroalimentaires durables. Il permet aux agriculteurs de s'adapter rapidement au changement climatique et de lutter contre les menaces constantes liées aux organismes nuisibles, aux maladies et aux plantes adventices. Le **Tableau 5** présente les usages que pourraient faire les différentes parties prenantes de cette base de données.

TABLEAU 5 COOPÉRATION DES DIFFÉRENTES PARTIES PRENANTES À LA BASE DE DONNÉES SUR LES VARIÉTÉS CULTIVÉES ET AVANTAGES RETIRÉS

Groupe	Coopération et avantages
Petits producteurs et consommateurs	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Trouver des variétés adaptées à leurs besoins ▶ Relier les informations sur les variétés aux services de conseil aux exploitants agricoles ▶ Partager des expériences d'utilisation de variétés avec d'autres exploitants agricoles et des chercheurs
Organismes de recherche	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Disposer d'informations actualisées sur l'enregistrement et la commercialisation de variétés ▶ Partager des informations sur les variétés récemment mises en circulation et les projets à l'étude (développement de produits) ▶ Faire référence à la base de données dans le cadre de recherches et de publications sur la R D agricole
Sociétés semencières	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Partager des informations sur les variétés commercialisées ▶ Faire remonter les informations des utilisateurs finaux (exploitants agricoles et consommateurs) sur le rendement des variétés ▶ Se renseigner sur de nouveaux marchés potentiels pour cibler leurs variétés
Pouvoirs publics et partenaires de développement	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Disposer de renseignements en temps réel sur les variétés cultivées disponibles ▶ Accéder à des informations pour la conception et la mise en œuvre de programmes de subventionnement des intrants ▶ Diffuser des informations sur les techniques culturales de variétés spécifiques dans le cadre de services de vulgarisation en ligne



ENCADRÉ F (suite)**Couverture actuelle**

On ne dispose actuellement que de peu de sources d'informations fiables sur les variétés cultivées, et encore moins en ce qui concerne l'Afrique. Les ressources en ligne consacrées aux variétés cultivées en Afrique, telles que les catalogues des variétés du Marché commun de l'Afrique orientale et australe (COMESA) et du Centre des semences de la Communauté de développement de l'Afrique australe, fournissent des données limitées (qui ne remontent pas plus loin que 2016), et imposent des coûts d'enregistrement élevés. Cela s'explique en partie par le fait que ces catalogues ont été conçus principalement dans le but d'enregistrer les variétés aux fins de protection des droits des obtenteurs. D'autres systèmes, comme la base de données des variétés de l'Union européenne, ne comprennent pas d'informations concernant les PRFI. Le Service international pour l'acquisition des applications d'agrobiotechnologie effectue uniquement un suivi des variétés génétiquement modifiées. La base de données sur les variétés cultivées qui est proposée ici fournira des informations sur des domaines négligés par les entités existantes, et constituera un pôle de données qui permettra à toutes les parties prenantes compétentes d'accéder à des informations pertinentes sur les variétés cultivées. En partenariat avec l'Université Cornell, les équipes de l'Indice africain de l'accès aux semences (TASAI) ont commencé à numériser les

informations relatives aux variétés cultivées figurant dans les catalogues nationaux des variétés mises en circulation (pour plus de détails, voir <https://tasai.org/>). Cependant, la portée de ce projet se limite actuellement à 22 pays d'Afrique subsaharienne et à seulement quatre céréales et légumineuses par pays.

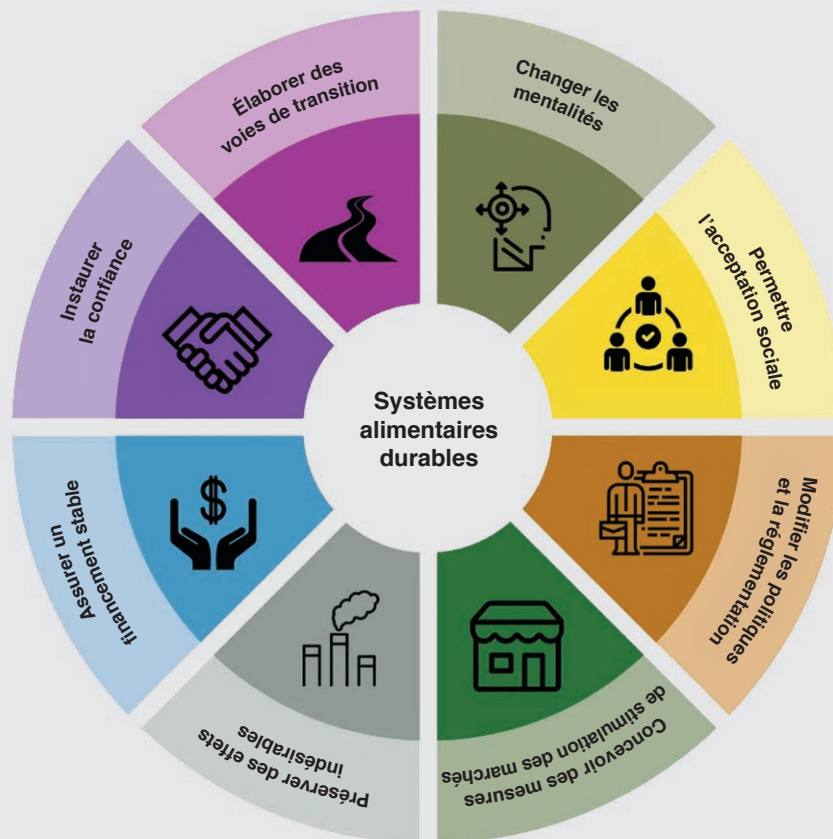
Méthode de collecte/curation de données à l'échelle mondiale

Comme indiqué ci-dessus, les données et les informations sur les variétés cultivées disponibles dans le commerce qui sont réunies dans le cadre de la procédure de mise en circulation sont souvent publiées dans les catalogues nationaux de variétés. Cependant, ces informations ne sont ni numérisées ni normalisées. En outre, différentes langues sont utilisées selon les pays. Avec des ressources modestes, l'équipe chargée des Perspectives pourrait créer une base de données interactive universelle comprenant des informations détaillées sur chaque variété cultivée (voir l'encadré ci-dessous). Ces informations seraient réunies par l'intermédiaire des réseaux, institutions ou groupes suivants: comités nationaux chargés de la mise en circulation des variétés, centres affiliés au CGIAR, obtenteurs, agents publics de vulgarisation, sociétés semencières, associations de commerce de semences, réseaux de magasins de produits agricoles, etc. Une fois mise en place, la base de données pourrait être gérée sur le long terme par des éditeurs autorisés au moyen d'une plateforme wiki.

Informations que les utilisateurs pourront trouver dans la base de données des variétés cultivées pour une variété spécifique de haricot

- ▶ **Noms:** nom officiel de la variété, noms locaux utilisés par les agriculteurs, origine de la variété.
- ▶ **Caractéristiques phénotypiques:** images et descriptions des caractéristiques, notamment la taille, la couleur, la forme et l'odeur de la plante, de la cosse et de la graine.
- ▶ **Performance:** rendements, fixation de l'azote, appétibilité des feuilles pour le bétail.
- ▶ **Agressions biotiques et abiotiques:** résistance aux maladies (pourriture des racines, dessèchement de la feuille, virus de la mosaïque commune du haricot et virus de la mosaïque du concombre), besoins en eau, tolérance à la chaleur et résistance au gel.
- ▶ **Techniques culturales:** espacement optimal, calendriers de culture selon le lieu, engrais recommandés, etc.
- ▶ **Données nutritionnelles:** nutrition (protéines, bioenrichissement, micronutriments), temps de cuisson.
- ▶ **Commercialisation:** années où la variété est disponible dans le commerce, nom des entreprises qui la vendent.

FIGURE 9 MESURES VISANT À ACCÉLÉRER LA TRANSFORMATION DES SYSTÈMES AGROALIMENTAIRES



Source: Herrero *et al.* 2020.

8.1 ACCÉLÉRATION DE L'ADOPTION DES INNOVATIONS PRÉ-ÉMERGENTES ET ÉMERGENTES

La transformation des systèmes agroalimentaires nécessite un dialogue en amont sur les questions d'acceptation et d'acceptabilité sociales concernant

l'adoption et la diffusion des solutions issues des STI, ainsi qu'une utilisation bien plus importante que celle qui a été faite jusqu'ici des principes de l'innovation responsable et un plus grand investissement dans la concertation publique. Ce dialogue sociétal est nécessaire pour faire en sorte que les valeurs et les motivations de l'ensemble des parties prenantes soient transparentes, car les diverses pressions exercées par les consommateurs, les salariés, les investisseurs et les pouvoirs publics peuvent tirer l'innovation dans des directions différentes, avec parfois des conséquences préjudiciables. Sans cette stimulation de l'innovation responsable, des avancées peut-être de tout premier ordre en matière de STI pourraient ne pas être utilisées, adoptées, ni appliquées à

plus grande échelle malgré leur impact potentiel considérable. Certaines solutions introduites pourraient aggraver involontairement (mais de manière prévisible) les problèmes à résoudre. La transformation des systèmes agroalimentaires dont on a besoin pour s'attaquer aux défis sociétaux majeurs pourrait ainsi être entravée par ceux qui misent sur le *statu quo*.

Herrero *et al.* (2020) ont proposé huit mesures (décrites à la [Figure 9](#)) pour accélérer l'adoption durable et responsable des technologies pré-émergentes et émergentes. Trois de ces mesures (instaurer la confiance, transformer les mentalités et permettre l'acceptation sociale) couvrent des aspects sociaux individuels et collectifs touchant les parties prenantes et sont susceptibles d'accroître la demande d'innovation. Elles sont fortement tributaires de la définition de «règles du jeu» favorisant l'ouverture et l'acceptation des valeurs à la fois des fournisseurs et des utilisateurs des innovations, et la reconnaissance du fait que des avènements radicalement différents pourraient découler de la mise en œuvre de ces dernières. L'acceptation sociale et la transparence accrue des effets et conséquences potentiels des technologies sont en outre éminemment souhaitables.

Le déploiement des nouvelles technologies et innovations s'accompagne inévitablement

d'arbitrages et d'effets indésirables (Herrero *et al.*, 2021). Une planification délibérée destinée à anticiper et corriger les voies d'impact sur divers résultats des systèmes agroalimentaires est nécessaire afin que l'on puisse éviter les effets préjudiciables imprévus des solutions STI dans ces derniers.

Il faut un environnement porteur dynamique qui facilite le repérage, la mise à l'essai et l'application de nouvelles avancées en matière de STI au service de la transformation des systèmes agroalimentaires. Les trois facteurs déterminants de cet indispensable dynamisme sont des mesures adaptables de stimulation des marchés, des politiques favorables, et une réglementation qui réduit les barrières à l'entrée sur les marchés de l'innovation. Il convient de reconnaître qu'une grande part des innovations nécessitent, pour porter leurs fruits, des investissements soutenus au-delà du bref cycle des projets. La recherche et la constitution de groupes d'innovations complémentaires, comprenant l'ensemble des éléments technologiques et sociaux nécessaires pour de bons résultats dans plusieurs dimensions des systèmes agroalimentaires, sont essentielles pour planifier les voies de transition qui permettront d'accélérer l'innovation dans ces systèmes ainsi que leur transformation (Herrero *et al.*, 2020, Barrett *et al.*, 2022a).



MONGOLIE

La vie des éleveurs défie les obstacles posés par le climat de la Mongolie – des étés très chauds et secs et des hivers extrêmement froids. Appelé *dzud*, ce phénomène est cependant devenu plus violent et plus fréquent sous l'effet du changement climatique ces deux dernières décennies.

CHAPITRE 9

SYNTHÈSE DES DONNÉES PROBANTES AUX FINS D'UNE ÉVALUATION INTÉGRÉE DE L'IMPACT

Les Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires n'ont pas pour objet de faire un état des lieux des avancées des STI au service des systèmes agroalimentaires, des intrants à la diffusion à grande échelle. Les éléments descriptifs sur l'état actuel de ces avancées à tous les stades d'évolution – tels que ceux donnés dans les quatre précédentes sections – sont nécessaires pour guider les investissements et les politiques qui faciliteront la transformation. Toutefois, faute de ressources, ces éléments ne suffisent souvent pas à inciter des investissements en l'absence de données crédibles permettant de faire des prévisions ou des déductions concernant les incidences probables des STI au service des systèmes agroalimentaires. Il peut être très utile d'évaluer non seulement les avancées qui sont diffusées et transposées à plus grande échelle, mais aussi les incidences probables ou constatées de cette diffusion et de cette transposition.

Les Perspectives doivent contribuer à accélérer la transformation des systèmes agroalimentaires pour atteindre plusieurs objectifs: une utilisation efficace et durable de ressources limitées; des moyens d'existence équitables qui soient source de prospérité pour les agriculteurs, les travailleurs et les propriétaires d'entreprise des systèmes agroalimentaires; une alimentation saine et sans danger pour toutes les personnes; la résilience face aux chocs et aux facteurs de stress. Les solutions STI doivent être évaluées à l'aune de ces objectifs. Dans les PRFI, en particulier, où le manque de ressources financières et humaines limite l'investissement et où les compromis à trouver entre des finalités concurrentes peuvent être importants, les données issues des évaluations d'impact peuvent encourager de nouveaux investissements et mener à des décisions plus

judicieuses et plus efficaces dans les secteurs public et privé.

Malheureusement, ces évaluations sont complexes, coûteuses et chronophages, et sont donc rarement réalisées. En outre, un vaste éventail de chercheurs et d'organisations produisent des évaluations d'impact en utilisant toute une gamme de méthodes et publient leurs conclusions par l'intermédiaire de divers organes (et dans des langues différentes), sans se coordonner. L'éparpillement et la qualité variable des évaluations compliquent la prise de décisions éclairées en ce qui concerne les STI au service des systèmes agroalimentaires.

La dernière composante essentielle des Perspectives est donc la synthèse des données probantes aux fins d'une évaluation intégrée de l'impact. Comme indiqué de façon explicite à la section 6, pour ce qui est des avancées pré-émergentes des STI, l'élaboration de chaque rapport sur les Perspectives doit donner lieu à des débats dynamiques dans l'ensemble des réseaux de parties prenantes au sujet des données probantes disponibles sur les effets éventuels ou prouvés de différentes solutions STI dans le cadre des systèmes agroalimentaires. À cette fin, il faut procéder à la collecte et à la curation des données disponibles sur certaines avancées, de façon individuelle et au sein d'ensembles établis en fonction du contexte. Toutefois, comme il a été évoqué aux sections 4 et 7, compte tenu du volume de données scientifiques produites chaque jour, il est complexe de rassembler des informations issues de sources diverses lorsque la langue, la discipline concernée, les obstacles liés à l'organisme de rattachement et le format de publication ne sont pas les mêmes d'une source à l'autre. Les spécialistes de l'information et les documentalistes ont mis au point – et perfectionnent en continu –

des méthodes formelles de synthèse des données probantes pour faciliter le recensement, la collecte et l'intégration de données issues de diverses sources de façon impartiale²².

Les synthèses des données probantes sont certes devenues monnaie courante dans des domaines variés tels que les politiques biomédicales et sanitaires, les politiques sociales et la gestion de l'environnement, par exemple, mais elles restent un outil relativement nouveau dans le domaine des systèmes agroalimentaires. On peut citer quelques initiatives limitées dans le temps jouissant d'une grande visibilité. L'équipe du projet Ceres2030 (Laborde *et al.*, 2020) a publié un ensemble d'études de synthèse réalisées à partir de données probantes dans la revue *Nature* (<https://www.nature.com/collections/dhiggjeagd/>). Le projet Systematic Reviews for Animals & Food (examens systématiques au service des animaux et de l'alimentation – SYREAF, <https://syreaf.org/>) rassemble et conserve une série d'examens systématiques, principalement dans les sciences animales et vétérinaires, et comprend même des examens systématiques «évolutifs», c'est-à-dire des examens en ligne fréquemment mis à jour dès que de nouvelles données sont disponibles. Le Groupe permanent sur l'évaluation des impacts du Système CGIAR coordonne et organise différentes évaluations d'impact au sujet d'avancées des STI au service des systèmes agroalimentaires qui ont un lien avec les recherches du Système. L'Agricultural Technology Adoption Initiative (initiative pour l'adoption des technologies agricoles), une collaboration entre l'Abdul Latif Jameel Poverty Action Lab et le Center for Effective Global Action de l'Université de Californie à Berkeley, a financé plusieurs évaluations d'impact réalisées au niveau universitaire sur les technologies agricoles et en héberge les résultats. Enfin, à l'Université de Washington, l'équipe du projet ICONICS cherche à élargir les efforts visant à rassembler des informations sur le recours aux scénarios mondiaux (profils communs d'évolution socioéconomique) établis pour le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et utilisés aux fins de nombreuses

évaluations sur le secteur agroalimentaire à l'échelle mondiale. Mais il n'existe pas, à ce jour, d'initiative ayant pour objet d'établir une synthèse des données probantes sur le large éventail de solutions STI liées aux systèmes agroalimentaires.

Comme il est expliqué à la section 3 (Figure 2), les méthodes employées pour évaluer l'impact dépendent du stade d'évolution des solutions STI. Tant qu'une innovation n'est pas encore sortie du cadre du laboratoire, du centre d'expérimentation, des champs, des communautés ou autre contexte, toute évaluation d'impact est nécessairement réalisée avant son adoption (*ex ante*), c'est-à-dire sur la base de modèles de simulation, que le modèle soit explicite ou implicite (modèle mental), quantitatif ou qualitatif. Une évaluation d'impact *ex ante* est utile même lorsque la solution a dépassé le stade d'émergence, notamment dans le cadre d'exercices de prospective où l'on tente de comprendre les éventuelles variations d'impact selon l'évolution des systèmes agroalimentaires (Thornton *et al.*, 2018; Wiebe *et al.*, 2018; Barrett *et al.*, 2021a) ou d'analyser les conséquences imprévues et les effets des politiques et réglementations complémentaires.

Lorsque des avancées des STI commencent à être mises en pratique en dehors d'essais supervisés par des chercheurs, les évaluations d'impact *ex post* deviennent essentielles à un examen rigoureux des effets en conditions réelles d'une solution ou d'un ensemble de solutions. Dans le cas des solutions abouties, il est possible, voire souhaitable, d'appliquer des méthodes d'évaluation d'impact *ex post*, souvent suivant des modèles de recherche rigoureux comme les essais comparatifs aléatoires (ESCA), mais toutes les avancées ne se prêtent pas aux ESCA ou à des protocoles quasi expérimentaux (Barrett et Carter, 2010, 2020; Barrett, 2021b). Ces dernières années, des évaluations d'impact *ex post* rigoureuses ont suscité beaucoup d'intérêt, qu'il s'agisse d'évaluations ponctuelles réalisées par des organisations ou des organismes d'enquête ou d'évaluations s'inscrivant dans le cadre de programmes de recherche. Plusieurs groupes sont spécialisés dans les évaluations d'impact *ex post*, dont l'International Initiative for Impact Evaluation (3ie), le groupe d'évaluation de l'impact en matière de développement (Development Impact

²² La bibliothèque de l'Université Cornell, l'un des chefs de file en matière de synthèse de données probantes, offre un bon aperçu de ces méthodes à l'adresse suivante (en anglais): <https://guides.library.cornell.edu/evidence-synthesis>.

Evaluation group) de la Banque mondiale et la Campbell Collaboration. Mais aucun d'entre eux n'est spécialisé dans les STI au service des systèmes agroalimentaires, un sujet qu'ils ne couvrent que partiellement et indirectement. En outre, étant donné que les erreurs d'échantillonnage et de mesure jettent nécessairement le doute sur le caractère généralisable et faible de certaines évaluations isolées, même lorsqu'elles sont convenablement réalisées, il faut reproduire les évaluations pour constituer une base de données probantes concluante. Les produits issus de la synthèse des données probantes, y compris les examens exploratoires ou systématiques ou les méta-analyses statistiques des données probantes servant à l'évaluation d'impact, peuvent apporter un éclairage utile sur ce qui fonctionne de manière fiable, à quels endroits et dans quelles conditions.

Compte tenu de la multiplicité des résultats attendus de la transformation des systèmes agroalimentaires, il est également nécessaire d'accorder une attention particulière aux compromis à effectuer entre les différents objectifs. Les effets favorables ne se manifestent pas dans tous les domaines; toutes les solutions STI ont des retombées positives et négatives sur d'autres résultats escomptés en raison des liens étroits qui existent entre les différentes composantes des systèmes agroalimentaires (Herrero *et al.*, 2021). Il est donc judicieux d'analyser clairement ces compromis dans les évaluations d'impact réalisées *ex ante* et *ex post* (Kanter *et al.*, 2018; Antle and Valdivia, 2021) et à différentes échelles spatiales, du niveau mondial (Hasegawa *et al.*, 2018; van

Meijl *et al.*, 2018; Rosegrant *et al.*, 2017) aux niveaux national (Sain *et al.*, 2017) et local (Valdivia *et al.*, 2017). La diversité des incidences éventuelles des solutions STI au service des systèmes agroalimentaires (en matière de productivité, de questions de genre, de nutrition, etc.) exige également que l'on tienne compte d'un plus vaste éventail de perspectives pour mieux comprendre les obstacles à une meilleure transposition à plus grande échelle ainsi que l'exposition des populations vulnérables aux risques que représentent les conséquences imprévues. La synthèse des données probantes peut s'appuyer sur des méthodes de prospective participative qui visent à intégrer de façon systématique davantage d'options possibles et une plus grande part d'incertitude (Trutnevvyte *et al.*, 2016; Vervoort *et al.*, 2014; Zurek and Henrichs, 2007).

Les évaluations d'impact intégrées, en particulier lorsqu'elles sont associées à des évaluations *ex ante*, peuvent produire des données probantes solides qui éclaireront les décideurs lors de l'examen des options en matière de STI au service des systèmes agroalimentaires. Le processus participatif qui permettra de produire des données sur les avancées pré-émergentes et émergentes des STI est une occasion toute trouvée d'accorder la priorité aux domaines dans lesquels la synthèse des données probantes semble particulièrement utile. L'élaboration des Perspectives permettra de réaliser des synthèses de façon stratégique plutôt qu'opportuniste au sujet des STI au service des systèmes agroalimentaires.

**REPUBLIQUE-UNIE DE
TANZANIE**

Une scientifique tanzanienne analyse différentes semences à l'aide d'un microscope dans un laboratoire rattaché à une pépinière et à un centre semencier de l'Agence tanzanienne des services forestiers, à Morogoro.

CHAPITRE 10

INDICATEURS SYNTHÉTIQUES PAR PAYS

L'approche sur laquelle reposent les Perspectives, à savoir intégrer des données tout au long du cycle de vie des solutions STI, entraîne un degré de complexité qui, souvent, joue en défaveur d'une réelle influence des données et de l'analyse sur les politiques. Il existe de nombreux indicateurs relatifs aux intrants initiaux qui permettent de générer de nouvelles avancées, ainsi qu'au suivi de l'évolution et des effets prévus des avancées pré-émergentes et émergentes des STI grâce à un balayage d'horizon et à la prospective, et jusqu'au suivi et à l'évaluation de la diffusion à plus grande échelle des solutions matures. On dispose de quelques indicateurs propres aux pays, mais cette spécificité géographique manque à de nombreuses autres avancées (en particulier pré-émergentes et émergentes).

Il peut être difficile d'évaluer la performance des politiques d'un pays et de guider leur élaboration à partir d'un large éventail d'indicateurs, notamment en raison de problèmes tels que la subjectivité dans la sélection de la méthode de mesure à privilégier. On utilise fréquemment des indicateurs synthétiques constitués d'une valeur scalaire (c'est-à-dire d'un nombre unique), tels que les indices et les scores, car ces éléments de mesure composites regroupant de nombreuses variables fournissent aux utilisateurs un paramètre unique, plus simple, qui leur permet d'évaluer les progrès et d'effectuer une analyse comparative par rapport à d'autres pays. On espère ainsi réduire une masse complexe d'éléments probants à un indicateur unique qui rende compte du concept implicite auquel on s'intéresse, dans le cas présent, les perspectives des technologies et des innovations afférentes aux systèmes agroalimentaires dans le pays considéré.

Il existe de nombreux exemples notables de ce type de mesure dans différents domaines. Par exemple:

L'*indice de développement humain* (IDH) du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) mesure la performance moyenne réalisée dans les principales dimensions du développement humain: la santé et la longévité; l'instruction; et des conditions de vie décente. Il est calculé à partir des indices normalisés établis pour chacune de ces dimensions, couvrant plusieurs mesures spécifiques. L'*indice mondial d'adaptation de l'Université de Notre Dame* (NDGain) classe 177 pays en fonction de leur performance en matière d'adaptation aux changements climatiques. Comme l'IDH, l'indice NDGain calcule une mesure à partir d'un ensemble d'indices secondaires établis sur des douzaines d'indicateurs individuels. D'autres indices ont été conçus pour évaluer l'un quelconque des différents concepts implicites qui ont un lien avec les performances ou les perspectives des systèmes agroalimentaires, notamment la capacité des services vétérinaires d'un pays (veille sanitaire internationale – Organisation mondiale de la santé animale) ou la vulnérabilité des petits exploitants face au changement climatique (Thornton *et al.*, 2018).

L'*Indice mondial de l'innovation* de l'OMPI et l'indice de préparation aux technologies d'avant-garde de la CNUCED sont deux des quelques indices directement associés à l'innovation dans le monde. Tous deux évaluent à l'échelle mondiale la performance des économies au regard, respectivement, de l'innovation et des technologies d'avant-garde, sans toutefois cibler spécifiquement les systèmes agroalimentaires. La mesure de ces indices est donnée par une valeur unique. L'Indice mondial de l'innovation repose sur la moyenne arithmétique de 80 indicateurs normalisés mesurant, entre autres, la situation politique, l'éducation, les infrastructures et la création de connaissances. Le classement donné par l'indice de préparation aux technologies d'avant-garde s'appuie sur des classements établis dans des sous-

domaines tels que les technologies de l'information et de la communication (TIC), les compétences, la RD, l'activité industrielle et l'accès au financement.

10,1 MÉTHODES DE CALCUL DES INDICES SYNTHÉTIQUES

On trouve toute une série de méthodes de calcul d'indices synthétiques dans les ouvrages publiés. Les principales sont les suivantes:

Systèmes simples de classement ou de notation: c'est la méthode la plus courante, pour laquelle il est généralement demandé à un groupe d'experts de classer un ensemble donné de variables par ordre croissant. Les classements des différents experts sont ensuite additionnés, puis la position cumulée de la variable est utilisée comme indice final à des fins de comparaison. Herrero *et al.* (2020, 2021) se sont servis de cette méthode pour classer l'impact potentiel des innovations au service des systèmes agroalimentaires sur les ODD. De la même manière, l'indice de la NASA mesurant la maturité d'une technologie est un simple système de notation reposant sur une échelle à neuf niveaux.

Systèmes arithmétiques simples: l'utilisation de systèmes de notation implique le calcul de moyennes arithmétiques ou géométriques d'un grand nombre de variables normalisées. Sous sa forme la plus simple, cette méthode pondère de façon égale tous les groupes de variables. Toutefois, dans de nombreux cas, des poids sont ajoutés pour mieux rendre compte de la pertinence d'un ensemble de variables, selon le cadre dans lequel l'indice est utilisé. L'IDH du PNUD est un bon exemple d'emploi de cette méthode.

Indices fondés sur des méthodes statistiques avancées: l'utilisation d'indices simples repose bien souvent sur des variables fortement corrélées. On a donc recours à des méthodes statistiques plus avancées, telles que l'analyse factorielle ou l'analyse en

composantes principales, pour élaborer des indices normalisés. Ces méthodes réduisent la complexité du problème en regroupant des ensembles de variables corrélées en un petit nombre de variables nouvelles, non corrélées. Les scores normalisés de ces nouvelles variables permettent ensuite de calculer un indice pour chaque observation ou pays. Parmi les exemples d'indices utilisant cette méthode, on peut citer l'indice de préparation aux technologies d'avant-garde de la CNUCED et l'indice de vulnérabilité face au climat élaboré par Thornton *et al.* (2018).

Faut-il assortir les Perspectives d'un indice des technologies et de l'innovation au service des systèmes agroalimentaires?

Il est techniquement faisable de calculer un tel indice à partir des données, des mesures et des méthodes dont on dispose. Les travaux publiés regorgent d'exemples d'élaboration et de mise en œuvre d'indices de ce type, mais ceux-ci ont été très diversement adoptés par la suite.

La question se pose donc de savoir si les Perspectives devraient être assorties d'un indice synthétique de cette nature. L'idée d'utiliser ce type d'indice pour tenter de représenter les perspectives en matière de technologies et d'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires pour un pays donné présente des avantages et des inconvénients.

La principale difficulté réside dans le fait de réduire un ensemble fourni d'informations et de mesures à un nombre unique et dans la possibilité éventuelle de manipuler ces mesures synthétiques. Des parties prenantes différentes associées à des valeurs et à des axes d'investigation également différents nécessitent des mesures et des informations qui le sont tout autant. Il peut être difficile de s'accorder sur un barème de pondération pour une large gamme de mesures, car les cas d'utilisation varient d'un utilisateur à l'autre. S'agissant de l'innovation au service des systèmes agroalimentaires, en particulier, qui s'étend de la production à la consommation en passant par le lacs complexe de rétroactions inhérent aux systèmes, synthétiser la mesure de

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▶ L'indice donne une synthèse simple d'un grand nombre de variables ▶ Il est simple à utiliser aux fins d'analyse comparative et de classement ▶ Il est largement utilisé par de nombreuses parties prenantes ▶ Le calcul et l'entrée de données sont normalisés ▶ L'indice favorise la comparabilité et la transparence 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Il peut être déterminé par une ou deux variables clés ▶ Le calcul entraîne une perte importante d'informations, supprimant le détail ▶ Il faut des valeurs pour de nombreux utilisateurs ▶ Les indices non pondérés ne rendent pas compte de l'importance des différentes variables, mais les pondérations sont subjectives ▶ Les mesures statistiques sont souvent difficiles à expliquer

la performance peut s'avérer vain, car il serait alors difficile de repérer le ou les composants des systèmes agroalimentaires auxquels la mesure renvoie. Il faudra toujours plus de précision pour que des moyens concrets d'accélérer le progrès des STI au service des systèmes agroalimentaires de certains pays puissent être définis. Les classements synthétiques présentent un intérêt évident

pour les décideurs publics, qui cherchent une méthode de mesures simple, mais cette simplicité est trop souvent trompeuse. Il n'est donc pas recommandé d'élaborer un indice synthétique pour les Perspectives. On lui préférera une mise en relief des résultats et des perspectives dans des domaines bien déterminés, mesurables et pouvant donner lieu à une action.



AFGHANISTAN

Des agriculteurs afghans introduisent des gerbes de blé dans une batteuse à Kuz Kinar, dans le district de Nangarhar.

CHAPITRE 11

CRÉATION D'UN CONSORTIUM POUR L'ÉDITION 2024 DES PERSPECTIVES ET LES SUIVANTES

Les Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires représentent une entreprise majeure. Plusieurs initiatives parallèles couvrent déjà différentes activités de collecte, de curation et d'analyse de données et ont été exposées dans les sections précédentes de la présente étude. Cependant, à ce jour, personne n'effectue de suivi de bout en bout des avancées des STI liées aux systèmes agroalimentaires, sur la totalité de leur cycle de vie – des intrants de la R-D à la diffusion des avancées matures et à leurs retombées, en passant par les phases de pré-émergence et d'émergence, lesquelles durent souvent des années, voire des décennies. Établir le bien public mondial que constituera une source de données gérée couvrant de bout en bout les solutions STI au service des systèmes agroalimentaires nécessitera une structure de collaboration durable rassemblant des partenaires spécialisés du monde entier issus de toutes les composantes de ces systèmes.

Le modèle de consortium présente plusieurs caractéristiques appréciables. Premièrement, il pourrait s'appuyer sur les compétences en matière de STI au service des systèmes agroalimentaires que l'on trouve actuellement au sein de la communauté scientifique mondiale. Deuxièmement, un tel modèle pourrait limiter le gaspillage d'énergie dû au chevauchement des activités et la confusion susceptible de s'installer chez les utilisateurs finaux en l'absence de coordination adéquate entre les diverses parties déjà actives dans l'une ou l'autre composante du bien public mondial que représenteraient les Perspectives.

En tant qu'institution spécialisée du système des Nations Unies chargée de l'alimentation et de l'agriculture, la FAO serait la coordonnatrice toute trouvée d'un consortium de partenaires qui collaboreraient à la création de produits et

d'analyses de haute qualité, d'une grande rigueur scientifique, ouverts à tous et en libre accès destinés à informer les décideurs des secteurs public et privé. La FAO ne pourra néanmoins pas se charger seule d'une entreprise d'une telle envergure. L'Organisation devra faire appel à des partenaires scientifiques, notamment sur les aspects plus techniques des Perspectives. De nombreuses organisations ont déjà réalisé des investissements considérables dans l'établissement d'équipes et de protocoles de collecte et d'analyse de données et de relations avec des fournisseurs de données non structurées ou semi-structurées, ou dans d'autres postes à coûts fixes d'une grande utilité qui pourraient être perdus si leur plateforme n'était pas correctement intégrée dans le projet des Perspectives. Il y aura un travail considérable à accomplir pour combler les manques de données, pour élaborer et valider des indicateurs fiables pour les données intrinsèquement non structurées, et pour faire passer un plus grand nombre de séries de l'état de données semi-structurées ou non structurées, dans lequel beaucoup d'organisations maintiennent des informations intéressantes, à celui de données structurées, qui les rendra directement utilisables par un large éventail de publics, en particulier, peut-être, ceux qui ont moins accès à des équipes techniques capables de les analyser, comme c'est souvent le cas dans les administrations, les organisations sans but lucratif et les organisations de la société civile des PRFI.

Le modèle de consortium offre un autre avantage: celui de créer un pare-feu qui préservera l'intégrité du produit. Si elles sont pertinentes, les Perspectives influenceront nécessairement sur les modèles d'investissement public et privé dans le monde entier. Pour des raisons à la fois politiques et financières, des acteurs puissants voudront peut-être influencer les évaluations qui y seront présentées. *L'Indice mondial de l'innovation*

de l'OMPI est structuré de manière à éviter ce genre de situation. L'indice est le fruit d'une collaboration; il est géré et parrainé de façon centralisée par une unité de l'OMPI, qui est un organisme des Nations Unies, mais les activités techniques sont confiées aux partenaires de son consortium, principalement à un grand partenaire de recherche. L'alliance de plusieurs partenaires et le fait que le travail technique soit isolé du pôle plus orienté vers le public que représente une organisation (des Nations Unies) intrinsèquement politique permettent à la fois de profiter des avantages d'un grand nom et de jouir des garanties procurées par une expertise extérieure. Le modèle de l'Indice mondial de l'innovation de l'OMPI est intéressant à ces différents égards.

Si l'on se réfère à la [Figure 2](#), qui illustre les différents types de données selon les stades du cycle de vie des avancées en matière de STI, on peut distinguer au moins deux groupes d'activités dans lesquels les divers partenaires pourraient se spécialiser:

1. Collecte, curation et analyse de données sur les intrants des STI et les solutions STI matures:

la FAO dirigerait ce pan d'activité, forte de son accès sans équivalent aux systèmes statistiques des États et de ses atouts dans ce domaine.

Il existe en dehors de la FAO plusieurs activités de collecte de données sur les intrants des STI sur lesquelles on pourrait s'appuyer pour l'élaboration des Perspectives. Le travail de compilation de données essentielles sur les intrants des STI qui se fait actuellement doit se poursuivre. La perte de plateformes et de compétences spécialisées de collecte de données, telles que celles mobilisées pour les ASTI, serait un revers majeur. Comme nous l'avons vu au chapitre 5, l'OCDE compile ce type de données pour ses États membres et pour les grands marchés émergents. Le programme InSTePP de l'Université du Minnesota a permis de réunir une impressionnante collection de données dans ce domaine, en particulier sur les taux de rendement des investissements dans les STI. Mais ces données ne sont pas rendues publiques ni disponibles en libre accès. Les séries de données InSTePP n'ont donc pas été prises en compte dans les indicateurs relatifs aux STI au service des systèmes agroalimentaires

mentionnés au chapitre 5, mais il serait intéressant d'étudier la possibilité d'en tirer parti. Les nouvelles initiatives en matière de recherche lancées dans le cadre de la réforme «One CGIAR», dont une qui porterait sur la prévision et la métrologie, pourraient être l'occasion de redynamiser la collecte, la curation et l'analyse de données structurées, à jour, en accès libre sur les intrants des STI et l'évaluation *ex ante* de leurs incidences possibles.

Autrefois, ces activités relevaient largement de la compétence du SIRAN. Après la fermeture du SIRAN en 2004, certaines de ses activités se sont poursuivies sous les auspices de l'IFPRI. Aujourd'hui, elles sont menées principalement dans le cadre du projet ASTI de l'IFPRI, qui génère la plus grande collection de données sur les intrants des STI dans les PRFI. Les Perspectives pourraient être l'occasion d'étendre la couverture, sur le plan géographique et sur le plan des indicateurs, des données ASTI et de mettre à jour les séries, en faisant fond sur les relations institutionnelles, les protocoles de collecte et de production de données et le personnel clé de la FAO.

L'Organisation assure déjà le suivi de nombreuses avancées matures en matière de STI dans FAOSTAT et dans les autres produits de données en accès libre similaires qu'elle propose. Une grande partie de ces données provient de recensements ou de sondages représentatifs à l'échelon national menés par les ministères ou bureaux de la statistique des gouvernements des pays. Dans de nombreux PRFI, la Banque mondiale joue un rôle essentiel de conseil technique pour ce type de collectes de données.

Il reste beaucoup à faire pour combler les manques d'informations dans les différents pays et résoudre les problèmes liés aux erreurs d'échantillonnage et de mesure dans les séries existantes (celles concernant, par exemple, l'utilisation par les agriculteurs de variétés améliorées d'espèces cultivées, d'engrais, de machines, etc.). Les progrès de la télédétection par satellite ouvrent également de nouvelles possibilités de générer, pour un faible coût, des estimations raisonnables de la diffusion actuelle des solutions STI liées aux systèmes

agroalimentaires qui sont visibles de l'espace, telles que les structures d'irrigation ou de production d'énergie renouvelable (panneaux solaires ou éoliennes, par exemple) installées sur les terres agricoles.

2. Suivi et évaluation des solutions STI émergentes et pré-émergentes liées aux systèmes agroalimentaires et synthèse des éléments probants: à des horizons de plus d'une décennie, les changements les plus profonds viendront sûrement d'avancées qui sont actuellement à un stade peu avancé ou intermédiaire de leur développement, c'est-à-dire qui n'ont pas encore atteint leur pleine maturité et ne sont pas diffusées à grande échelle dans les systèmes agroalimentaires. Dans le cadre des Perspectives, il s'agit des tâches les plus complexes du point de vue méthodologique, qui évolueront forcément rapidement avec les progrès des sciences de l'information. Le projet Wild Futures, lancé à l'origine par l'Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth (CSIRO) et désormais basé à l'Université Cornell, est un pionnier dans l'étude des avancées pré-émergentes des STI liées aux systèmes agroalimentaires et de leurs effets potentiels (Herrero *et al.*, 2020, 2021), et les spécialistes de la synthèse d'éléments probants de Cornell, dans le cadre de Ceres2030, ont été les premiers à utiliser des méthodes d'apprentissage automatique pour détecter les tendances qui se font jour et les manques d'éléments probants dans le domaine scientifique (Porciello, 2020; Porciello, 2021a; Porciello, 2021b). Une partie de ces activités est menée en association avec des initiatives prometteuses telles que le portail IFSS (<https://nutritionconnect.org/ifss>) – collaboration multi-institutionnelle dirigée par le Système CGIAR et l'Alliance mondiale pour l'amélioration de la nutrition (AMAN), en partenariat avec de nombreux groupes, dont Cornell, Wageningen et d'autres universités. Cette communauté d'utilisateurs cherche des moyens innovants de repenser le fonctionnement des systèmes agroalimentaires et de permettre à différents acteurs de trouver des solutions face à des défis et à des possibilités propres au contexte. Cela suppose en partie de repérer les avancées

prometteuses en matière de STI et de les faire évaluer par des experts. Il faut aussi élaborer et déployer des outils qui aideront les utilisateurs à analyser à rebours, en partant des aboutissements souhaités, les moyens d'action envisageables qui permettront l'utilisation et la transposition à plus grande échelle des solutions STI liées aux systèmes agroalimentaires et la concrétisation des résultats attendus de ces dernières. La limite floue entre les avancées pré-émergentes et émergentes en matière de STI – et l'absence de systèmes établis de collecte de données pour ces deux stades de leur cycle de vie – joue en faveur de leur combinaison en une même activité, à l'aide des méthodes et des données présentées aux chapitres 6 et 7.

On pourrait envisager d'adjoindre à la FAO un partenaire de recherche international de premier plan pour l'aider dans cette entreprise. Il y a également les domaines où la participation du secteur privé et de la société civile est tout à fait envisageable et très précieuse. L'investissement du secteur privé dans les STI au service des systèmes agroalimentaires augmente rapidement et se concentre surtout sur les stades de pré-émergence et d'émergence. De la même façon, de nombreuses innovations sociales, politiques ou institutionnelles proviennent d'organisations de la société civile (groupes d'agriculteurs ou groupes communautaires, par exemple). Jusqu'à présent, la plus grande partie de l'investissement privé dans les STI liées aux systèmes agroalimentaires est allée aux nouveaux matériels génétiques animaux et végétaux, aux produits agrochimiques, aux machines, etc. Mais l'investissement dans les activités post-récolte – transformation et fabrication de produits alimentaires, logistique et, surtout, vente au détail et services de restauration – augmente rapidement (Barrett *et al.*, 2022c; AgFunder Network, 2022). Une étroite collaboration avec des entités du secteur privé – groupes industriels nationaux, services de suivi du capital-risque, etc. – sera essentielle pour que l'on parvienne à répertorier et à évaluer les avancées pré-émergentes et émergentes des STI dans le domaine des systèmes agroalimentaires. Ces activités ne font traditionnellement pas partie du domaine de compétence de la FAO, du Système

CGIAR ou d'autres entités du secteur public et nécessiteront une attention plus créative et approfondie, qui soit clairement axée sur la phase préconcurrentielle au cours de laquelle toutes les parties ont intérêt à collaborer et à partager des données.

Le flux de travaux relatif aux stades de pré-émergence et d'émergence exposé plus tôt s'intègre directement dans la synthèse des éléments probants qui couvre les évaluations d'impact *ex ante* et *ex post* des solutions STI au service des systèmes agroalimentaires. Des organisations telles que le Système CGIAR, l'Université Cornell et 3ie se servent de leur expérience considérable pour faciliter les avancées méthodologiques et l'intégration des éléments probants relatifs aux évaluations d'impact appliquées aux systèmes agroalimentaires.

Des manifestations sur un thème à venir ou récent des Perspectives pourraient être coordonnées avec des organisations partageant des intérêts similaires. Des manifestations autour du thème de chaque édition des Perspectives, par exemple, pourraient être organisées parallèlement à d'autres rendez-vous réguliers, notamment le Forum annuel de la science et de l'innovation de la FAO (<https://www.fao.org/science-technology-and-innovation/science-innovation-forum/en>), le Forum de la science du Système CGIAR, ou encore les réunions annuelles de l'International Consortium on Applied Bioeconomy Research (<https://icabr.net/>) ou du projet de recherche multi-États du Département de l'agriculture des États-Unis d'Amérique consacré aux analyses d'impact et aux stratégies de prise de décision dans la recherche agricole (<https://www.nimss.org/projects/view/mrp/outline/18787>).

L'équipe des Perspectives pourrait également faire appel à un partenaire mondialement reconnu dans l'édition scientifique. Pour être considérées comme sérieuses, les Perspectives devront nécessairement s'appuyer sur un grand nombre de documents de référence techniques – informations qui ne figureront pas dans le rapport final destiné à un public non spécialiste. Ces documents de référence ont souvent une valeur considérable dans le milieu universitaire et celui de la recherche,

car ils permettent non seulement de diffuser de nouvelles connaissances, mais aussi de favoriser la participation de scientifiques de haut vol pour qui les publications scientifiques présentent un intérêt essentiel. La FAO a noué des partenariats fructueux avec des éditeurs scientifiques par le passé, par exemple pour transformer des collections de documents de référence en numéros spéciaux ou sections à comité de lecture de grandes revues²³. De même, le projet Ceres2030 mené par l'Université Cornell et l'IFPRI a abouti à la publication d'une collection très remarquée d'articles dans la revue *Nature*²⁴. Il s'agit cependant généralement d'arrangements ponctuels et non d'opérations régulières. On pourrait conclure un arrangement avec un éditeur scientifique de premier plan pour créer une série d'ouvrages ou de numéros spéciaux ou collections de revues à comité de lecture de grande qualité, en libre accès, qui pourrait devenir au fil du temps une référence majeure sur les STI au service des systèmes agroalimentaires, et éventuellement être associée à des conférences ou ateliers consacrés à chaque thème des Perspectives – une publication en libre accès regroupant les documents techniques de base, par exemple, que ferait paraître un éditeur scientifique prestigieux. Il existe actuellement un accord d'édition entre la FAO et Springer pour les contributions apportées par le personnel de l'Organisation aux ouvrages en libre accès publiés par Springer Nature.

23 Voir par exemple les numéros d'octobre 2013 et de janvier 2021 de *Food Policy* – intitulés *Food Systems and the Triple Burden of Malnutrition* et *Food Loss and Waste: Evidence for effective policies*, respectivement –, qui s'appuient sur les documents de référence élaborés pour le rapport sur *La Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture*.

24 Voir <https://www.nature.com/collections/dhiggeagad/> (collection complète d'articles) ou Laborde *et al.* (résumé).



ÉGYPTE

Vendeuse de légumes au
Caire.

CHAPITRE 12

FRÉQUENCE DE PARUTION ET CONTENU DES PERSPECTIVES

Les Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires pourraient être un instrument puissant d'accélération de la transformation des systèmes agroalimentaires si elles parviennent à retenir l'attention des publics clés et à les influencer.

Le produit envisagé cible les hauts responsables politiques et leurs conseillers à l'échelon national et dans les organismes multilatéraux ainsi que les investisseurs publics, privés et philanthropiques qui financent la RD en matière de STI au service des systèmes agroalimentaires, en particulier dans les PRFI. Ces publics ont besoin de messages clairs, qui ne soient pas techniques mais qui reposent sur des éléments probants issus de la science, y compris des données en accès libre. **L'idée est que les Perspectives deviennent la principale référence périodique et une source majeure de données en accès libre sur la manière dont la science, les technologies et les innovations font évoluer les systèmes agroalimentaires d'aujourd'hui et peuvent les transformer pour les rendre plus efficaces, plus inclusifs, plus résilients et plus durables.** Ce produit sera utilisé à des fins de mobilisation – pour que les investissements dans la RD au service des systèmes agroalimentaires se multiplient ou prennent une forme différente, par exemple – et pour aider les entités des secteurs public et privé à définir les priorités.

L'intérêt d'un produit qui offre une couverture complète et de bout en bout du cycle de vie des avancées des STI utiles aux systèmes agroalimentaires pose aussi un problème majeur. La liste des jeux de données existants qui remplissent les principaux critères d'inclusion définis aux chapitres 5 et 8 est relativement courte; elle est en outre particulièrement pauvre concernant les technologies utilisées après la

sortie de l'exploitation ainsi que les innovations financières et institutionnelles et politiques. De plus, les jeux de données existants ciblent massivement les premier et dernier stades – les intrants et les avancées matures des STI – au détriment des avancées pré-émergentes et émergentes, pour lesquelles on note des lacunes importantes. Si l'on veut accélérer la transformation des systèmes agroalimentaires, il faut prêter une attention bien plus grande à ces stades intermédiaires cruciaux, ne serait-ce que pour aider à raccourcir les délais considérables qui séparent les investissements initiaux dans la RD de la transposition à grande échelle des nouvelles solutions STI à fort impact parmi les acteurs des systèmes agroalimentaires mondiaux.

Il n'est pas réaliste d'espérer couvrir chaque année, de façon appropriée et rigoureuse, les avancées pré-émergentes et émergentes des STI dans tous les domaines, pour les raisons exposées aux chapitres 6 et 7. L'une des solutions pour que cette ambition soit atteignable est de publier les Perspectives de façon régulière tous les deux ans. De fait, les produits consacrés aux perspectives des STI publiés par la Fondation nationale pour la science des États-Unis d'Amérique, l'OCDE, la CNUCED et l'UNESCO sont bisannuels. L'Indice mondial de l'innovation de l'OMPI est publié tous les ans mais repose uniquement sur des données secondaires. Une fois les protocoles bien établis, on pourra éventuellement faire paraître des produits supplémentaires entre les éditions bisannuelles des Perspectives pour traiter des questions subsidiaires importantes sous une forme plus condensée. Une publication bisannuelle apparaît donc comme un objectif à la fois ambitieux et réaliste, privilégiant comme il se doit la qualité plutôt que la rapidité.

Chaque édition des Perspectives aura un thème et s'appuiera sur de nombreuses recherches de

fond. Le thème choisi pour la première édition des Perspectives, en 2024, sera les STI au service des petits producteurs des systèmes agroalimentaires, y compris les petites et moyennes entreprises. Ce thème cible l'un des résultats du deuxième pilier d'action de la Stratégie de la FAO en matière de science et d'innovation, à savoir: *«L'accès et le recours – par les petits producteurs, les exploitants familiaux et les autres acteurs des systèmes agroalimentaires – à des innovations et des technologies inclusives, financièrement abordables et spécifiques au contexte visant à mettre en place des systèmes agroalimentaires durables sont renforcés.»* Comparé aux grandes entreprises multinationales des systèmes agroalimentaires, les petits producteurs dépendent davantage des intrants des STI apportés par les secteurs public et philanthropique. La première édition des Perspectives se penchera sur les avantages et les inconvénients de l'innovation qui s'accumulent en raison de l'échelle et la manière dont les parties prenantes peuvent accélérer plus efficacement le développement des solutions STI, leur diffusion, leurs effets et l'adaptation à celles-ci parmi les petits producteurs dans le monde.

Les thèmes des éditions 2026 et suivantes du rapport pourraient varier entre les différents domaines des STI – domaines numérique, génétique ou mécanique, aliments nouveaux ou politiques, par exemple – et les types de résultats ou d'effets escomptés – conservation des terres et des eaux, sécurité sanitaire des aliments, amélioration de la nutrition, amélioration de la situation des travailleurs des systèmes agroalimentaires, renforcement de la résilience face aux crises et aux facteurs de perturbation, par exemple –, ou encore porter plus largement sur l'évaluation de l'impact des STI au service des systèmes agroalimentaires ou sur l'analyse prospective et les arbitrages à réaliser dans les futurs systèmes agroalimentaires, par exemple. Les travaux réalisés sur les domaines des STI éclaireront naturellement les éditions plus intégrées axées sur les principaux résultats et effets ciblés.

La deuxième partie des Perspectives se composera d'une annexe riche en données, comprenant non seulement du contenu en rapport direct avec le thème de l'édition considérée, mais aussi un ensemble standard de données probantes

empiriques présenté dans des tableaux par pays et/ou par indicateur.

Les séries de données en accès libre qui alimenteront chaque édition du rapport resteront disponibles et seront actualisées régulièrement. Ces données constitueront un bien collectif majeur dont la curation devra être soigneusement pensée. Il serait logique de tirer parti des plateformes existantes – ou du moins d'établir un lien avec celles-ci et de permettre un partage des données – telles que le Food Systems Dashboard (tableau de bord des systèmes alimentaires) et le portail IFSS.

Certaines des données les plus précieuses viendront de l'intégration des évaluations d'impact des STI au service des systèmes agroalimentaires. Une évaluation d'impact rigoureuse coûte cher. Il pourrait être intéressant que les Perspectives proposent un portail d'accès aux examens systématiques et exploratoires et aux méta-analyses statistiques des données d'évaluation d'impact disponibles, qui permette de savoir ce qui fonctionne de façon fiable, à quel endroit et dans quelles conditions. Ces données sont parmi les plus utiles aux organismes qui travaillent avec des budgets limités dans les PRFI. Elles peuvent prendre diverses formes et provenir non seulement d'évaluations statistiques, mais aussi d'évaluations descriptives/qualitatives. Certaines des évaluations les plus percutantes seront axées sur le groupement de différentes innovations et technologies, un domaine qui, jusqu'ici, n'a pas été suffisamment traité par des évaluations d'impact formelles. Le travail de synthèse des éléments probants sera mené de façon permanente, sans être spécifiquement relié à une édition en particulier.

Les Perspectives sur les technologies et l'innovation dans le domaine des systèmes agroalimentaires seraient une entreprise majeure, une initiative sans précédent. L'une des principales décisions que la FAO et les investisseurs et partenaires de cette publication auront à prendre tient à la hiérarchisation et à l'ordonnancement des mesures nécessaires pour maintenir et développer la collecte, l'analyse, la curation et la diffusion des données tout au long du cycle de vie des avancées des STI liées aux systèmes agroalimentaires. Il est presque certain qu'il faudra procéder par étapes, en s'intéressant d'abord à la curation et à la

communication des séries de données existantes, puis en élargissant la base pour couvrir une plus grande partie à la fois de la chaîne de valeur après la sortie de l'exploitation et des institutions et politiques qui définissent les environnements alimentaires dans lesquels les consommateurs font leurs choix alimentaires.

Les opinions des experts divergent fortement quant au stade à privilégier lors du déploiement de la collecte, de l'analyse et de la curation de données. La plupart de ceux qui travaillent dans des organisations multilatérales recommandent de centrer les efforts sur les intrants des STI, tandis que les personnes interrogées dans le secteur privé soutiennent que les domaines essentiels à faire progresser sont les avancées pré-émergentes et émergentes des STI. L'équipe chargée de l'élaboration des Perspectives estime que les deux positions présentent des avantages, mais que la collecte, l'analyse et la curation de données fiables relatives aux avancées pré-émergentes et émergentes des STI sont probablement la voie la plus prometteuse si l'on veut accélérer la transformation des systèmes agroalimentaires, notamment dans les PRFI. Le rythme de l'activité du secteur privé, y compris dans ces pays, a nettement augmenté ces dernières années²⁵. Vu la croissance rapide du financement par le secteur privé des solutions STI au service des systèmes agroalimentaires par rapport aux investissements publics, il est de plus en plus important de faire participer ce secteur. Ses intérêts résident plus nettement dans les stades intermédiaires, à savoir la pré-émergence et l'émergence des solutions STI. Étant donné que cette option facilite la participation du secteur privé – essentielle pour une publication réussie – et permet de combler un vide particulièrement béant dans le paysage des STI au service des systèmes agroalimentaires,

l'équipe des Perspectives lancera, dès le début, des activités visant à approfondir la compréhension des phases de pré-émergence et d'émergence des avancées, surtout en ce qui concerne les PRFI.

À une plus vaste échelle, toutefois, le programme des Perspectives devra aider à déclencher de nouvelles initiatives qui permettront de combler plus largement les déficits de données et d'éléments probants sur les systèmes agroalimentaires et d'utiliser les données et les analyses traitées et produites par l'équipe des Perspectives pour éclairer l'élaboration des politiques. Comme exposé dans la théorie du changement au chapitre 1, les Perspectives peuvent être un outil très efficace pour encourager l'investissement dans la production de données et d'éléments probants et dans l'élaboration de politiques fondées sur le réel et contribuer ainsi à accélérer la transformation des systèmes agroalimentaires à l'échelle mondiale, mais surtout dans les PRFI d'aujourd'hui, où cette transformation est particulièrement essentielle. Au fil du temps, les Perspectives devraient inciter les membres du consortium et un écosystème plus vaste de parties prenantes à réunir des communautés de pratique autour du suivi et de la mesure des dynamiques des STI en rapport avec les systèmes agroalimentaires afin de renforcer les meilleures pratiques en matière d'utilisation de données probantes au service de l'élaboration des politiques et de l'investissement dans le domaine des systèmes agroalimentaires.

25 En voici un exemple éloquent: fin mars 2022, deux start-up africaines – Apollo Agriculture (Kenya) et ThriveAgric (Nigéria) – ont réuni respectivement 40 millions et 56 millions d'USD de nouveaux financements en une semaine (<https://agfundernews.com/thriveagric-apollo-ag-score-nearly-100m-in-big-week-for-african-agtech>). Les entreprises du secteur des technologies agroalimentaires ont attiré au minimum 52 milliards d'USD de nouveaux investissements en 2021, soit une augmentation de 75 pour cent par rapport à 2020. Les accords les plus importants concernaient des marchés émergents – la Chine, l'Inde et le Brésil font partie des six pays du monde où l'investissement dans les technologies agroalimentaires a été le plus élevé en 2021 – et des segments en aval des chaînes de valeur, comme la livraison de nourriture et les aliments innovants (produits *in vitro*, fermentés ou d'origine végétale) (AgFunder Network, 2022).

ANNEXE A

INFORMATIONS DÉTAILLÉES SUR LES INDICATEURS EXAMINÉS

À l'aide des critères d'inclusion détaillés au chapitre 5, les données structurées examinées concernant les intrants des STI (chapitre 5) et les avancées matures en matière de STI (chapitre 8) ont été classées en deux groupes: celles qui répondent à tous les critères d'inclusion (prioritaires) et celles qui ne répondent pas à un ou plusieurs critères (non prioritaires). Ces indicateurs

sont décrits dans les tableaux ci-après ([Tableaux A1-A4](#)). La base de données comprenant des informations plus détaillées sur chaque indicateur – le nombre total de pays et de PRFI, le pourcentage de pays ayant au moins une observation disponible sur la période allant de 2016 à aujourd'hui, et les notes sur le jeu de données – est disponible sur demande.

TABLEAU A1 SÉRIES DE DONNÉES SUR LES INTRANTS DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE L'INNOVATION RÉPONDANT À TOUS LES CRITÈRES D'INCLUSION

Indicateur	Sous-indicateur	Définition	Source
Financement de la R D			
Public	Dépenses brutes en R-D – provenant des pouvoirs publics – agronomie et sciences vétérinaires	Dépenses intérieures brutes de R D réalisées par les pouvoirs publics dans le domaine de l'agronomie et des sciences vétérinaires.	UNESCO
Privé	Dépenses brutes en R-D – provenant d'entités sans but lucratif du secteur privé – agronomie	Cet indicateur prend en compte les sommes totales qui ont financé des travaux de R-D exécutés sur le territoire national dans le domaine de l'agronomie par des organisations privées sans but lucratif, sur une base annuelle.	UNESCO
	Crédit intérieur fourni au secteur privé (en % du produit intérieur brut [PIB])	Fait référence aux ressources financières qui ont été apportées au secteur privé par des établissements financiers (prêts, achats de titres ne correspondant pas à une prise de participation, crédits commerciaux et autres effets à recevoir) et qui créent une créance remboursable. Cet indicateur mesure la capacité du secteur privé de contribuer au développement des STI.	Banque mondiale
Enseignement supérieur	Dépenses brutes en R-D – provenant de l'enseignement supérieur – agronomie	Cet indicateur prend en compte les sommes totales qui ont financé des travaux de R-D exécutés sur le territoire national dans le domaine de l'agronomie par des établissements d'enseignement supérieur, sur une base annuelle.	UNESCO



Indicateur	Sous-indicateur	Définition	Source
Environnement politique concernant les STI			
Régimes de propriété intellectuelle	Ratification de la Convention UPOV	La base de données de Mercedes Campi couvre la période 1961-2018 et comprend un indice avec les scores annuels de 104 pays où des lois sur la protection des obtentions végétales sont en vigueur. Les données comprennent la ratification de la Convention UPOV, l'exception en faveur des agriculteurs, l'exception en faveur des obtenteurs, la durée et la portée des brevets.	Indice de protection de la propriété intellectuelle relative aux obtentions végétales et à leurs constituants, pour des pays pris individuellement, sur la période 1961-2018.
	Exception en faveur des agriculteurs	Cette composante porte sur ce qu'il est convenu d'appeler le droit des agriculteurs à conserver des semences, c'est-à-dire à utiliser le produit des récoltes qu'ils ont obtenues à partir d'une variété végétale protégée à des fins de reproduction sur leur propre exploitation.	Indice de protection de la propriété intellectuelle relative aux obtentions végétales et à leurs constituants, pour des pays pris individuellement, sur la période 1961-2018.
	Exception en faveur des obtenteurs	Cette composante porte sur ce qu'il est convenu d'appeler l'exception au droit des obtenteurs – qui prévoit que le droit de l'obteneur ne s'étend pas à l'utilisation d'une variété végétale à des fins d'expérimentation ou de recherche menées par d'autres obtenteurs.	Indice de protection de la propriété intellectuelle relative aux obtentions végétales et à leurs constituants, pour des pays pris individuellement, sur la période 1961-2018.
	Durée de la protection	Cette composante porte sur la durée du droit.	Indice de protection de la propriété intellectuelle relative aux obtentions végétales et à leurs constituants, pour des pays pris individuellement, sur la période 1961-2018.
	Étendue des brevets	Cette composante examine si le dépôt de brevet est ou non permis dans cinq domaines liés à la sélection végétale et à l'agriculture: i) l'alimentation, qui transforme des produits de l'agriculture; ii) les micro-organismes, qui sont étroitement associés au développement des biotechnologies et à leur application à l'obtention végétale; iii) les produits pharmaceutiques, étant donné que ce secteur dépend aussi de la biodiversité et des ressources génétiques; iv) les plantes et les animaux, lorsque l'invention ne se limite pas à une variété spécifique; et v) les variétés végétales (variétés de plantes particulières reproduites par voie sexuée ou multipliées par voie végétative) (définition extraite de Campi et Nuvolari [2021]).	Indice de protection de la propriété intellectuelle relative aux obtentions végétales et à leurs constituants, pour des pays pris individuellement, sur la période 1961-2018.
	Capacité de réglementation	Indice de qualité de la réglementation	Indice rendant compte de la façon dont est perçue la capacité des pouvoirs publics de formuler et mettre en œuvre des politiques et des réglementations pertinentes qui permettent et favorisent le développement du secteur privé. Les scores sont normalisés.
Conditions pour les start-up	Enabling the Business of Agriculture	Les indicateurs du projet Enabling the Business of Agriculture (Améliorer le climat des affaires dans l'agriculture) évaluent dans quelle mesure les pouvoirs publics facilitent ou compliquent la tâche des agriculteurs dans la conduite de leur activité.	Banque mondiale
Intrants physiques de la R-D			
Importations de haute technologie	Importations de haute technologie	«Importations de haute technologie en pourcentage du total des échanges. Les exportations et les importations de haute technologie comprennent les produits techniques intégrant une forte intensité de R-D, selon la définition de la classification Eurostat, elle-même fondée sur la quatrième version révisée de la Classification type pour le commerce international (CTCI) et sur la définition de l'OCDE. Les produits appartiennent aux secteurs suivants: aérospatiale; ordinateurs et machines de bureau; électronique – communications; pharmacie; instruments scientifiques; machines électriques; chimie; machines non électriques; et armement.»	Indice mondial de l'innovation de l'OMPI
Publications scientifiques	Nombre de publications scientifiques sur les technologies agricoles de pointe	Nombre de publications scientifiques sur les technologies agricoles de pointe, reflétant les progrès scientifiques en matière d'innovation technologique, en particulier pour les avancées pré-émergentes et émergentes des STI.	SCOPUS
Collections de ressources génétiques	Nombre de variétés répertoriées par pays	Cette variable est construite (sa validité n'est pas assurée); elle représente la diversité des cultures dans un pays.	Genesys

TABLEAU A2 SÉRIES DE DONNÉES SUR LES AVANCÉES MATURES DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE L'INNOVATION RÉPONDANT À TOUS LES CRITÈRES D'INCLUSION

Indicateur	Sous-indicateur	Définition	Source
Production primaire			
Semences améliorées	Cultures transgéniques approuvées	Cet indicateur rend compte des cultures biotechnologiques / transgéniques qui ont été approuvées à des fins de commercialisation / mise en culture et d'importation (alimentation humaine et animale).	Service international pour l'acquisition des applications d'agro-biotechnologie (ISAAA)
Engrais	Utilisation agricole	Quantité utilisée dans le secteur agricole au cours de l'année. L'unité de mesure est la tonne.	FAOSTAT
	Engrais	Total des éléments fertilisants N, P205, K20 provenant d'engrais chimiques et N provenant d'engrais organiques appliqués sur les sols, en milliers de tonnes.	Indices de productivité totale des facteurs agricole internationale, 1961-2019
Pesticides	Utilisation de pesticides	Cela comprend les données sur l'utilisation des principaux groupes de pesticides (insecticides, herbicides, fongicides, régulateurs de la croissance des plantes et rodenticides) et des familles chimiques concernées. Les données rendent compte des quantités de pesticides (en tonnes d'ingrédients actifs) utilisées par le secteur agricole ou vendues à celui-ci pour les cultures et les semences.	FAOSTAT
Façons culturales	Superficie cultivée avec travail de conservation du sol	Superficie cultivée (en milliers d'hectares) sur laquelle les façons culturales laissent des résidus de cultures (de 30 à 35 pour cent au minimum) à la surface du sol à des fins de lutte contre l'érosion et de conservation de l'humidité.	UNdata-FAO
Production de viande et de protéines d'origine végétale / de culture	Fabricants et marques de protéines de substitution	Ces données portent sur toutes les entreprises alimentaires qui produisent des protéines de substitution (d'origine végétale ou de culture) dans le monde; elles comprennent des variables telles que le pays d'implantation, les régions d'exploitation, l'année de fondation et les fondateurs.	Good Food Institute
Superficie de terres cultivées	Superficie cultivée aménagée pour l'irrigation	La superficie aménagée pour l'irrigation comprend les zones équipées pour une irrigation en maîtrise totale faisant appel à n'importe quelle méthode d'irrigation de surface, d'irrigation par aspersion ou d'irrigation localisée. Il n'est pas nécessaire que les équipements concernés aient été utilisés durant l'année de référence. Sont également prises en compte les zones faisant appel à des méthodes d'irrigation en maîtrise partielle: épandage des eaux de crue (maîtrise des eaux de crue aux fins d'arrosage des cultures), marais et bas-fonds équipés et zones de décrue équipées. Est exclu l'arrosage manuel des plantes à l'aide de godets, d'arrosoirs ou d'autres dispositifs.	FAOSTAT
Aquaculture	Production aquacole	Cet indicateur représente le poids total produit pour une espèce de poisson dans un pays donné (ex.: 5 000 tonnes de saumon – États-Unis d'Amérique).	FAO FishStatJ
Santé / génétique / nutrition des animaux améliorées	Mesures de lutte	Type d'inspection contribuant à traiter des maladies touchant les animaux, dans un pays donné.	Organisation mondiale de la santé animale
Investissements matériels	Stocks nets de capital	Investissement dans les biens d'équipement de l'agriculture, de la foresterie et de la pêche; les données sont corrigées de l'amortissement.	FAO
Productivité totale des facteurs	Productivité totale des facteurs	La productivité totale des facteurs (PTF) est le rapport de l'indice total de production sur l'indice total des intrants.	Indices de productivité totale des facteurs agricole internationale, 1961-2019
Technologies après récolte			
Production d'agrogazole	Production d'agrogazole	Agrogazole produit en milliers de tonnes d'équivalent pétrole. L'agrogazole est une source d'énergie issue de l'agriculture, qui peut être utilisée en remplacement du gazole.	OECD.Stat



Indicateur	Sous-indicateur	Définition	Source
Chaîne d'approvisionnement et infrastructures	Infrastructures agricoles	Cet indicateur mesure la capacité de stocker les récoltes et de les acheminer jusqu'au marché, à partir d'une évaluation, pour un pays donné, i) des investissements dans les installations de stockage des récoltes, ii) des infrastructures routières, iii) des infrastructures aériennes, portuaires et ferroviaires, iv) des infrastructures d'irrigation.	Global Food Security Index (indice de la sécurité alimentaire mondiale)
Accès à internet	Personnes utilisant internet, total (%)	Pourcentage de la population utilisant internet à titre personnel, étant donné la progression des nouvelles technologies agricoles passant par un accès à internet.	Union internationale des télécommunications (UIT)
	Ménages disposant d'un accès à internet à domicile (%)	Pourcentage des ménages disposant d'un accès à internet à domicile, étant donné l'accès des ménages aux nouvelles technologies agricoles.	UIT
Transformation, fabrication et conditionnement			
Réglementation de l'enrichissement des aliments	Enrichissement obligatoire	Le pays s'est doté d'une documentation juridique ayant pour effet d'imposer la fortification de l'aliment en question par ajout d'au moins une vitamine ou un élément minéral; la documentation indique que la fortification de l'aliment ou d'une partie de celui-ci est obligatoire ou requise.	Global Fortification Data Exchange
Réglementation de la reformulation des produits alimentaires	Reformulation des aliments et des boissons	Nombre de pays ayant adopté des politiques en matière de teneur en graisses, en sel/sodium et/ou en sucres.	Base de données mondiale sur la mise en œuvre des actions en matière de nutrition (GINA)
Questions relatives au travail			
Lois sur le salaire minimum	Salaire minimum	Salaire mensuel brut minimum prévu par la loi, en USD (après conversion éventuelle), pour la dernière année en date.	ILOSTAT Statistiques sur les salaires
Environnement alimentaire des consommateurs			
Épicerie modernes et supermarchés	Épicerie modernes et supermarchés pour 100 000 habitants	Nombre de supermarchés pour 100 000 habitants. Euromonitor définit les supermarchés comme étant des «points de vente au détail d'articles d'épicerie dont la surface commerciale est comprise entre 400 et 2 500 m ² . Sont exclus les discompteurs, les magasins d'alimentation de proximité et les épicerie indépendantes». Il faut noter que, pour certains pays, les données sont modélisées par Euromonitor à partir d'estimations provenant d'autres pays qui présentent des caractéristiques géographiques, sociodémographiques et macroéconomiques similaires. La population a été déterminée à l'aide des estimations produites par la Banque mondiale.	Food Systems Dashboard

TABLEAU A3 SÉRIES DE DONNÉES SUR LES INTRANTS DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE L'INNOVATION NE RÉPONDANT PAS À UN OU PLUSIEURS CRITÈRES D'INCLUSION

Section	Nom	Lien
Financement de la RD publique	ASTI	https://www.asti.cgiar.org/pdf/GlobalAssessmentDataTables.pdf
	INSTePP	
	IFPRI – 2019 Statistics on Public Expenditures for Economic Development (SPEED) (Statistiques sur les dépenses publiques consacrées au développement économique)	https://doi.org/10.7910/DVN/MKX1TU
	FAO – Dépenses publiques consacrées à l'agriculture	https://www.fao.org/faostat/fr/#data/IG
	OCDE	https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=DV_DCD_PPFD
Philanthropie	OCDE	https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=DV_DCD_PPFD
	Fondation Bill et Melinda Gates	https://www.gatesfoundation.org/about/committed-grants
	Fondation Ford	https://www.fordfoundation.org/work/our-grants/grants-database/grants-all
	Fondation Rockefeller	https://www.rockefellerfoundation.org/grants/
Enseignement supérieur	Indice mondial de l'innovation 2021 de l'OMPI (extrait de: Forum économique mondial, Executive Opinion Survey 2020 (2018–20), annexe C du rapport sur la compétitivité mondiale 2020. (https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2020))	https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2021.pdf
Personnel de R-D	UNESCO – Institut de statistique de l'UNESCO	http://data.uis.unesco.org/Index.aspx?DataSetCode=SCN_DS&lang=fr
	ASTI	https://www.asti.cgiar.org/pdf/GlobalAssessmentDataTables.pdf
	UNESCO	http://data.uis.unesco.org/Index.aspx?DataSetCode=SCN_DS&lang=fr
	GFAR – Forum mondial de la recherche agricole et de l'innovation	https://www.gfar.net/information-gateway
Régimes de propriété intellectuelle	PLUTO, Base de données sur les variétés végétales	https://pluto.upov.int/search
	Global Preferential Trade Agreements Database (base de données mondiale sur les accords établissant un régime commercial préférentiel)	https://wits.worldbank.org/gptad/database_search_results.aspx?show=1
Environnement des start-up	Banque mondiale	https://www.doingbusiness.org/en/data
	Indice mondial de l'innovation de l'OMPI (extrait de Banque mondiale, Doing Business 2020, Comparing Business Regulation in 190 Economies).	https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2021.pdf
Collections de ressources génétiques	Projet GRIN-Global (Réseau mondial d'information sur les ressources génétiques)	https://www.grin-global.org/
Collections de ressources génétiques	Gramene	https://www.gramene.org/

TABLEAU A4 SÉRIES DE DONNÉES SUR LES AVANCÉES MATURES DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE L'INNOVATION NE RÉPONANT PAS À UN OU PLUSIEURS CRITÈRES D'INCLUSION

Section	Nom	Lien
Production primaire – Pesticides	OECD.Stat	https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=STAN#
Production primaire – Labour réduit	Revue Nature.com	https://www.nature.com/articles/s41597-021-00817-x
Production primaire – Pourcentage de terres cultivées irriguées	Banque mondiale, Indicateurs du développement dans le monde	https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/AG.LND.IRIG.AG.ZS?end=2018&start=2001&view=chart
Production primaire – Aquaculture	OECD.Stat	https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=STAN#
Production primaire – Santé / génétique / nutrition des animaux améliorées	OECD.Stat	https://stats.oecd.org/Index.aspx?QueryId=77269
Production primaire – Nombre d'exploitations par agent de vulgarisation	IFPRI	https://dataverse.harvard.edu/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.7910/DVN/JEQ9B0
Production primaire – Machines agricoles de précision	Agriculture intelligente	https://www-statista-com.proxy.library.cornell.edu/study/46794/smart-agriculture/
Production primaire – Pourcentage de terres cultivées protégées par une culture de couverture	Carte des cultures de couverture	https://gocovercrops.com/
	Terres cultivées en permanence (en % des terres émergées)	https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.CROP.ZS
	Base de données des cultures de couverture	https://sarep.ucdavis.edu/covercrop
Production primaire – Protéines d'origine végétale	Good Food Institute	https://gfi.org/resource/alternative-protein-company-database/
	Répertoires des producteurs de protéines de substitution	https://proteindirectory.com/alt-protein-database/
	Répertoire des start-up asiatiques travaillant dans le domaine des protéines de substitution	https://www.greenqueen.com.hk/asia-alt-protein-directory-database/
Production primaire – Irrigation par pompage	FAO Aquastat	https://www.fao.org/aquastat/statistics/query/index.html?lang=en
Production primaire – Consommation d'énergie	OECD.Stat	https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=STAN#
Production primaire – Ressources hydriques et qualité de l'eau améliorées	FAO Aquastat	https://www.fao.org/aquastat/statistics/query/index.html?lang=en
Production primaire – Ressources hydriques et qualité de l'eau améliorées	OECD.Stat	https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=STAN#



Production primaire – Qualité des sols améliorée	OECD.Stat	https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=STAN#
Production primaire – Qualité des sols améliorée	FAOSTAT	https://www.fao.org/faostat/en/#data/GV
Production primaire – Forêts	UNdata-FAO	https://www.fao.org/faostat/en/#data/GV
Technologies post-récolte – Sacs de stockage améliorés	Engineering for change – Agricultural Solutions Database (base de données sur les solutions agricoles)	https://www.engineeringforchange.org/solutions/products/?category=agriculture
	OCDE	https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=DV_DCD_PPFD
Transformation, fabrication et conditionnement – Réglementation de la reformulation des produits alimentaires	Meilleures pratiques des États membres en matière de reformulation des produits alimentaires	https://ec.europa.eu/health/sites/default/files/nutrition_physical_activity/docs/2016euskpresidency_bestpractices_en.pdf
Transformation, fabrication et conditionnement – Transport	FAO Aquastat	https://www.fao.org/aquastat/statistics/query/index.html?lang=en
Transformation, fabrication et conditionnement – Élimination des déchets économe en énergie	FAOSTAT	https://www.fao.org/faostat/en/#data/RFB
Questions relatives au travail – Emploi de la main-d'œuvre agricole	Indices de productivité totale des facteurs agricole internationale, 1961-2019	https://www.ers.usda.gov/data-products/international-agricultural-productivity/
Questions relatives au travail – Lois sur le salaire minimum	Base de données mondiale de WageIndicator sur les salaires minimums	https://wageindicator.org/salary/minimum-wage
	OCDE Salaires minimums en termes réels	https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=RMW
Environnement alimentaire des consommateurs – Assistance alimentaire au moyen de supports électroniques	Unité chargée de la protection sociale du groupe Banque mondiale	https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/Event/social-protection/Gentilini%20-%20Food%20assistance%20as%20a%20safety%20net.pdf
	DigitalFoodLab	https://www.digitalfoodlab.com/en/foodtech-database/
Environnement alimentaire des consommateurs – Paiement sans numéraire dans le commerce de détail	Banque mondiale G20 Financial Inclusion Indicators (indicateurs d'inclusion financière)	https://databank.worldbank.org/source/g20-financial-inclusion-indicators/Series/GPSS_2

ANNEXE B

SOURCES POTENTIELLES D'INFORMATIONS SUR LES START-UP ACTIVES DANS LE DOMAINE DES SYSTEMES AGROALIMENTAIRES

Inventaires des bases de données sur les start-up

Un certain nombre de bases de données peuvent aider à dresser une liste de start-up actives dans le domaine des systèmes agroalimentaires. Ces bases sont diversement accessibles, mais un grand nombre d'entre elles permettent aux utilisateurs de s'inscrire gratuitement. Une fois l'inscription effectuée, la simplicité d'accès aux données varie considérablement. Ainsi, le site Agrifood Cooperation Platform n'oblige pas l'utilisateur à se connecter et lui permet, dès la page d'accueil, de filtrer les informations recherchées par pays, type d'organisation, type d'organisation dans le domaine agroalimentaire, services fournis et type de production agricole et alimentaire, à la suite de quoi les résultats s'affichent sur une carte fournissant des informations détaillées sur les organisations sélectionnées et des liens vers leurs sites respectifs (Innovation Technology Cluster, non daté). Ce site recense près de 1 000 organisations agroalimentaires. À l'inverse, le site CompassList impose à l'utilisateur de se connecter (gratuitement), mais comprend plus de 7 000 start-up (CompassList, non daté). Le site permet de filtrer les résultats par pays, siège social, étape de financement, secteur, technologie et état d'activité de la société. Pour détecter les technologies innovantes, on utilisera principalement les valeurs *Bootstrap/Pre-seed* (autofinancement/préamorçage) et *Angel/Seed* (investisseur providentiel/amorçage) du critère *Funding Stage* (étape de financement), la valeur *Series A* pouvant aussi présenter quelque intérêt. Le critère *Sector* comprend de nombreuses valeurs possibles, telles que *Aquaculture*, *Alternative Proteins* (protéines de substitution), *Agriculture & Fishery* (agriculture et pêche), *Urban Farming* (agriculture urbaine), *Foodtech* (technologie liée

à l'alimentation) ou *Circular Economy* (économie circulaire). Le domaine couvert par les bases de données est hétérogène, certaines ciblant les start-up tout juste débutantes et d'autres recensant des entreprises à différents niveaux de maturité. Le site [Global Innovation Exchange](#) est une autre base de données étoffée, qui regroupe plus de 7 000 innovations relatives au développement mondial dans un fichier Excel libre d'accès, que l'on peut télécharger (Global Innovation Exchange, non daté). Le format comprend le pays de mise en œuvre, le nombre de personnes concernées, la date de mise à jour, le lieu d'incubation de l'innovation, une brève description, l'URL d'accès, l'étape de développement de l'innovation et bien d'autres champs. La version Excel de cet inventaire est toujours disponible, mais n'est plus mise à jour depuis l'automne 2021 en raison d'un manque de financement.

Bases de données sur les bailleurs de fonds soutenant des start-up actives dans les systèmes agroalimentaires

Les sources de financement auxquelles on peut s'intéresser pour établir une liste de start-up agroalimentaires sont très diverses. Pour faciliter le classement des sources par catégorie, l'ensemble des plateformes relatives à l'innovation a été scindé en groupes ([Tableau B1](#)).

Les portefeuilles des sociétés d'investissement d'amorçage permettent de détecter des innovations plus récentes, et l'étape de financement peut indiquer la maturité de l'innovation. Ainsi, les différentes étapes de financement sont souvent étiquetées «préamorçage», «amorçage», «série A». Il est courant que les firmes publient une liste de leurs portefeuilles sur leur site web ([Tableau 3](#)).

TABLEAU B1 CLASSEMENT DES SOURCES DE FINANCEMENT DE START-UP EXAMINÉES

Plateformes d'innovation	Bases de données de start-up	Plateformes ou bases de données créées dans le but premier de recenser les start-up
	Investisseurs	Organisations ou personnes physiques cherchant à financer des organisations en croissance dans l'intention de faire fructifier leur investissement
	Bases de données sur les investisseurs	Plateformes créées pour fournir des listes d'investisseurs actifs ou pour mettre en relation pourvoyeurs et demandeurs de fonds
	Appels ouverts / Prix / Défis	Possibilités pour des novateurs de faire connaître leurs idées, généralement dans l'espoir d'attirer l'attention et d'obtenir un soutien
	Accélérateurs / Pépinières	Programmes conçus pour aider les organisations qui veulent se développer à poursuivre leur croissance
	Fondations	Organisations sans but lucratif créées par une personne physique ou un groupe de donateurs dans le but de financer des entreprises et des organisations sans but lucratif
	Bases de données sur les dons	Bases de données créées pour répertorier les possibilités de don et, parfois, mettre en relation donateurs et bénéficiaires
	Financement participatif	Plateformes permettant au grand public d'investir dans des organisations
	Écosystèmes	Plateformes ayant pour but de créer un réseau autour d'un centre d'intérêt partagé afin de réunir des connaissances et d'y donner accès

Aux fins du présent rapport, un investisseur désigne une personne physique ou une organisation (généralement une entreprise) fournissant des fonds à d'autres organisations pour les aider à croître, et ce dans l'intention de faire fructifier les capitaux ainsi investis. L'attention s'est majoritairement portée sur les entreprises plutôt que sur les personnes physiques. La consultation des bases de données sur les investisseurs permet d'en dresser une liste pour ensuite accéder aux portefeuilles de chacun d'eux. Autre possibilité, certaines plateformes réunissent start-up et bailleurs de fonds dans le but de les mettre en relation. Parmi les plateformes les plus connues dans ce domaine, on peut citer CrunchBase (<https://www.crunchbase.com/hub/startups-founded-in-2021>), TechCrunch (<https://techcrunch.com/startups/>), Pitchbook (<https://pitchbook.com/solutions/startups>), Plug and Play (<https://www.plugandplaytechcenter.com/startups/our-startups/>), Deal Room (<https://app.dealroom.co/companies.startups>) et CB Insights (<https://www.cbinsights.com/>). Il s'agit là de plateformes de financement généralistes, mais leur grande notoriété fait qu'elles sont plus communément utilisées et possèdent d'importantes listes de start-up. En outre, certaines ressources ont constitué des listes Airtable (qui peuvent ainsi

être mises à jour en continu), lesquelles sont parfois exportables sous forme de fichiers CSV. Ainsi, Foodhack possède une liste de plus d'une centaine d'investisseurs actifs dans le domaine des technologies alimentaires (Foodhack, non daté), tandis qu'une autre liste téléchargeable sous la forme d'un fichier CSV donne, entre autres, le nom et le site web de plus de 215 fonds de capital-risque qui interviennent dans la phase de lancement des entreprises (Goldman, non daté). En utilisant ces listes pour accéder aux portefeuilles de capital-risque généralement mis en partage sur le site web de ces organisations, il est possible de réunir des informations sur les organisations débutantes qui, de l'avis des investisseurs, sont particulièrement prometteuses (voir le [Tableau B2](#)).

Les appels ouverts, les laboratoires, les défis ou les prix constituent une autre source fiable de jeunes pousses agroalimentaires. Souvent, les bailleurs de fonds à la recherche d'idées innovantes lancent des appels ouverts invitant les participants à contribuer à la résolution de problèmes spécifiques ou généraux. Ces sources permettent de détecter quelques-unes des idées les plus récentes. Certaines plateformes publient toutes les réponses reçues à leurs appels ou les partagent directement avec les autres candidats. Ces bases de données

TABLEAU B2 DÉFINITION DES PREMIÈRES ÉTAPES DE FINANCEMENTS

Premières étapes de financement	Définition
Autofinancement ou préamorçage	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Produit tout juste viable ▶ Marché déterminé ▶ Accès au marché
Amorçage ou Investisseur providentiel	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Début des ventes du produit ▶ Équipe compétente réunie pour bâtir l'entreprise
Série A	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Adéquation au marché réalisée ▶ Ventes en progression ▶ Possibilité d'augmenter encore le chiffre d'affaires

n'intègrent donc pas seulement les lauréats, mais contiennent l'ensemble des réponses reçues et sont un moyen de détecter des organisations débutantes qui n'ont peut-être pas encore bénéficié d'un investissement. Ainsi, le Food Systems Game Changers Lab, fruit de la collaboration entre EAT, IDEO, Thought for Food, la fondation Rockefeller, Forum for the Future, Meridian Institute, SecondMuse et Intention 2 Impact, donne accès à toutes les réponses reçues et crée 24 équipes d'innovateurs ayant une orientation similaire pour qu'elles travaillent sur des solutions innovantes (de Hass, 2021). Les thèmes de travail de ces équipes portent, par exemple, sur le recyclage valorisant d'aliments et de matériaux, la réduction du gaspillage alimentaire, les emballages innovants ou l'amélioration de la santé des sols. Dans d'autres cas, les appels ouverts entraînent la publication d'une liste des meilleures idées et des lauréats. L'Entrepreneurship World Cup (<https://platform.entrepreneurshipworldcup.com/display/IN/2021+EWC+100>) publie les 100 innovations arrivées en tête de sa compétition annuelle. Souvent, les appels ouverts sont lancés à intervalles réguliers, tous les ans, tous les semestres ou tous les trimestres, offrant ainsi une possibilité de comparaison au fil du temps. Souvent aussi, des prix et des défis sont lancés pour tenter d'attirer des idées innovantes, par la promesse d'une reconnaissance et d'une récompense décernée aux vainqueurs. Ainsi, UpLink propose une plateforme spéciale sur laquelle sont publiés des défis sur des sujets tels que le carbone bleu, les artisans du climat dans le monde et l'économie circulaire (Forum économique mondial, non daté). La plateforme de défis UpLink donne accès aux contributions reçues ainsi qu'aux meilleures innovations. Le Massachusetts Institute of Technology (MIT), qui organise le Sustainable

Food Systems Challenge (défi Systèmes alimentaires durables), a publié le nom de sept lauréats et de huit autres finalistes ainsi que plus de 250 solutions reçues (MIT, 2021). On peut aussi envisager une collaboration avec une plateforme qui ne publie pas toutes les réponses reçues, mais possède un jeu de données sur les innovations.

Les accélérateurs, les pépinières et les fondations offrent également, à intervalles réguliers, d'autres ressources destinées aux start-up. Des cohortes sont régulièrement formées pour chacune de ces entités, qui choisissent les organisations les plus prometteuses dont l'activité concorde avec le domaine de spécialisation de l'accélérateur, de la pépinière ou de la fondation. Parmi les exemples de bourses de perfectionnement, on peut citer celles de la Skoll Foundation (<https://skoll.org/community/emerging-leaders-initiative/>), de la Mulago Foundation (<https://www.mulagofoundation.org/henry-arnhold-fellows>), d'Acumen (<https://acumen.org/fellowships/>) et d'EIT Food (<https://eit.europa.eu/our-activities/opportunities/eit-food-ris-fellowships-2021>), parmi beaucoup d'autres. D'après les données de l'International Business Innovation Association relayées par *Forbes* en 2019, on compterait approximativement 7 000 pépinières et programmes d'accélérateurs d'entreprises (Cremades, 2019). Ce chiffre peut être réduit si l'on sélectionne des secteurs ou des stades de développement spécifiques, mais la liste reste longue. Il est fréquent que les accélérateurs, les pépinières et les fondations publient leurs portefeuilles sur leurs sites web respectifs. Certains ciblent le monde entier, comme YCombinator (<https://www.ycombinator.com/>), et d'autres se spécialisent dans une région ou une catégorie donnée, comme l'accélérateur GROW (<https://>

www.gogrow.co/), qui se concentre sur les entreprises agroalimentaires d'Asie du Sud-Est.

Il existe aussi plusieurs plateformes de gestion de dons, qui s'occupent de mettre en relation donateurs et demandeurs. Ces ressources concernent plutôt les organisations sans but lucratif, mais on trouve aussi un nombre croissant d'entreprises sociales porteuses de technologies innovantes qui recherchent des possibilités de don. Bien que les pratiques des plateformes varient, il est courant qu'elles imposent une connexion, gratuite pour certaines, et payantes à l'issue d'une période d'essai gratuit pour d'autres. Les Nations Unies répertorient leurs dons sur une plateforme où l'on peut également déposer une demande de don (United Nations, non daté). La plateforme Fluxx a été créée à l'intention des organisations sans but lucratif et peut être utilisée gratuitement tandis qu'Instrumentl offre 14 jours d'essai gratuit avant de facturer ses services (Fluxx Grantseeker, non daté). Dans certains cas, des formats téléchargeables sont disponibles, pour simplifier l'utilisation des données.

Dans les premiers temps de leur existence, les start-up sont le plus souvent financées par leur créateur, sa famille et ses amis (Spiegel *et al.*, 2016, pp. 421449). Il est donc plus difficile de repérer ces entreprises car elles ne figurent pas dans les listes des sources de financement. Cela étant, il existe aujourd'hui de nombreuses organisations de financement participatif dont un des objectifs est de faciliter l'accès au financement en incitant la famille et les amis des néo-entrepreneurs à investir. Les sites de financement participatif se sont développés, offrant un moyen de lancer une entreprise, de trouver ses premiers clients et de gagner en notoriété, et ont permis à tout un chacun d'investir plus simplement. Au fil du temps, ce mode de financement a évolué et pris de multiples formes, la principale étudiée ici étant le financement participatif avec prise de participation. Il existe aussi de nombreux sites qui visent à mettre de la transparence dans les dons et à donner un accès au financement à des communautés marginalisées qui sans cela n'en bénéficieraient pas. Les sites de financement participatif sont donc utiles pour constituer une collection de jeunes organisations innovantes qui ont l'adhésion de leur communauté. On trouve

des plateformes internationales généralistes comme GoFundMe (<https://www.gofundme.com/>), Kickstarter (<https://www.kickstarter.com/>), Indiegogo (<https://www.indiegogo.com/>), Crowdfunder (<https://www.crowdfunder.co.uk/>), Wefunder (<https://wefunder.com/>), Angellist Venture (<https://www.angellist.com/>) et bien d'autres, mais aussi des sites plus spécialisés et davantage tournés vers le financement des premiers stades de développement des entreprises, tels que Crowdcube (<https://www.crowdcube.com/>), Seedrs (<https://www.seedrs.com/>), OurCrowd (<https://www.ourcrowd.com/>), Fundify (<https://fundify.com/>), Funding Societies (<https://fundingsocieties.com/>), entre autres. D'autres plateformes encore ciblent spécifiquement les entreprises agroalimentaires, comme FoodHack (<https://foodhack.global/>), Vegan Launch (<https://veganlaunch.com/>) et Sustainable Food Ventures (<https://www.sustainablefoodventures.com/>). Parfois aussi la cible choisie est régionale, ce qui permet de tenir compte des différences dans les lois et règlements.

Le financement participatif – une innovation dans le domaine du financement qui, entre autres utilisations, génère des ressources pour les STI – connaît actuellement une croissance phénoménale à l'échelle mondiale, qui ne se limite pas aux pays à revenu élevé (Encadré E). Ainsi, l'African Crowdfunding Association (ACFA) s'emploie à rendre le financement participatif plus transparent et conforme aux meilleures pratiques définies par l'association à l'échelle de l'Afrique (African Crowdfunding Association, non daté). L'ACFA a constitué une liste de plateformes de financement participatif opérant en Afrique qui doivent respecter ces règles (African Crowdfunding Association, non daté). En Asie aussi le financement participatif connaît un succès de plus en plus grand, à mesure que les différents gouvernements légifèrent en matière de prêts entre particuliers. Il prend également une envergure considérable en Amérique latine. Le Brésil, par exemple, a vu les fonds levés via les plateformes de financement participatif passer de 8,3 millions d'USD en 2016 à 78,8 millions en 2019 (Nery, 2020).

Les écosystèmes représentent une autre ressource. Ces plateformes ont pour but de créer un réseau autour d'un centre d'intérêt partagé

(l'agroalimentaire par exemple) pour permettre à des individus de réunir des connaissances et d'y donner/avoir accès. L'intention est de rassembler autant d'informations que possible en un même endroit. Aspen Network of Development Entrepreneurs (ANDE) en est un exemple. ANDE est un réseau mondial possédant des bureaux régionaux qui, moyennant une adhésion payante, offre à ses membres un accès à des investisseurs, des experts, des formations et des start-up ayant les mêmes aspirations (ANDE, non daté). On peut aussi citer la plateforme d'innovation Feed 9 B, dont l'objectif est d'encourager la collaboration et l'innovation dans l'ensemble de l'écosystème alimentaire d'Asie (Feed 9 B, non daté).

Les technologies émergentes ne sont pas l'apanage des nouvelles entreprises, mais apparaissent souvent aussi dans de grandes sociétés qui ont les moyens de mener des travaux de R-D. Dans ce cas, il est possible de remonter directement à la source et d'étudier les rapports annuels des entreprises en question pour avoir une idée des technologies novatrices naissantes.

L'étude de ces documents est relativement fastidieuse car ils contiennent de nombreuses informations d'une utilité variable et ne publient que des connaissances ne faisant pas l'objet d'un droit de propriété. Il est à noter que les organisations maîtrisent le récit derrière les informations qu'ils communiquent. Malgré cela, un examen de leurs plus récents produits lancés ou testés peut donner des indications sur leurs dernières innovations en date. Ainsi, ADM possède 55 centres d'innovation distincts, ce qui illustre l'ampleur et la diversité des recherches menées (Archer Daniels Midland Company, 2020). On peut aussi examiner les tendances publiées par les grandes entreprises dans leurs propres médias, encore que certaines activités puissent être menées de façon plus secrète, auquel cas il est important d'étudier les bases de données de la propriété intellectuelle. Enfin, l'étude des acquisitions et des scissions partielles peut donner de précieuses indications sur les technologies émergentes, bien que ces opérations se produisent souvent à un stade plus avancé sur l'échelle de maturité et de développement.

ANNEXE C

MÉTHODES STRUCTURÉES D'ÉLICITATION D'EXPERTS

Examen des meilleures pratiques en matière d'élicitation d'experts

Plusieurs variables critiques relatives à la conception et au déroulement de l'enquête doivent être prises en compte lors de la conception du modèle d'élicitation d'experts proposé pour l'établissement des Perspectives. Les chercheurs doivent déterminer :

- ▶ le type de méthode d'élicitation à appliquer;
- ▶ les personnes sélectionnées pour participer;
- ▶ les critères utilisés pour définir un «expert»;
- ▶ si toutes les réponses des experts seront pondérées de la même manière ou proportionnellement à leur niveau d'expertise;
- ▶ le nombre minimum d'experts requis par enquête;
- ▶ si les experts seront interrogés par groupe ou de manière collective.
- ▶ les protocoles et meilleures pratiques à adopter.

Le guide pratique *A Practice Guide to Structured Expert Elicitation Using The IDEA Protocol* (Hemming *et al.*, 2017) est un manuel intéressant sur les protocoles de meilleures pratiques en matière d'élicitation d'experts qui a contribué de manière déterminante à façonner la méthode d'élicitation privilégiée pour les Perspectives. La méthode est structurée à partir des protocoles IDEA, car ils ont fait l'objet de recherches approfondies et permettent de remédier aux principaux inconvénients de l'élicitation d'experts au moyen de la méthode Delphi. Les protocoles IDEA permettent aux chercheurs de réduire de manière significative le temps, les frais et les ressources nécessaires à la réalisation d'une élicitation d'experts. Le modèle a été largement adopté par les spécialistes du sujet. Le [Tableau C1](#) présente un résumé des protocoles IDEA ainsi que

plusieurs autres approches couramment utilisées dans le cadre d'élicitations d'experts.

Proposition de départ pour l'élicitation d'avis d'experts concernant les technologies pré-émergentes

L'[Encadré C1](#) présente un exemple de l'articulation des tâches définie pour le processus d'élicitation d'experts dans le cadre des Perspectives, dont l'intégralité est réalisée à distance via une plateforme d'enquête en ligne. Après la réunion de présentation, toutes les étapes de l'enquête sont menées de manière asynchrone. Les enquêtes sont menées en parallèle pour chaque groupe d'experts.

On trouvera ci-dessous une brève description de chacune des étapes du processus d'élicitation d'experts proposé.

- 1. Invitation.** Des invitations seront envoyées par courriel avant la réunion de présentation. Les personnes invitées y trouveront un résumé, en des termes simples, de l'objectif des activités de recherche et du rapport sur les Perspectives ainsi que le calendrier et les coordonnées des personnes à contacter. Elles seront informées du caractère bénévole de leur participation et de leur droit d'y mettre fin à tout moment. L'invitation contiendra également une déclaration détaillée relative à l'éthique sur des thèmes tels que la protection de l'anonymat, l'utilisation de noms de code et le cryptage des données.
- 2. Réunion de présentation.** La réunion de présentation est une séance d'introduction organisée à l'intention des experts qui ont été invités à participer à l'enquête. Elle a pour but de leur présenter le contexte et les méthodes d'élicitation. Il convient de veiller tout particulièrement à faciliter la tenue de réunions

TABLEAU C1 TYPES D'ÉLICITATION

	Description
Méthode Delphi traditionnelle	L'élicitation se fait dans le cadre d'une enquête comportant plusieurs cycles (trois ou plus) où les experts sont encadrés de manière impartiale par un facilitateur afin que le groupe puisse se mettre d'accord sur les réponses fournies. En règle générale, une élicitation menée selon la méthode Delphi doit se dérouler en personne, exige beaucoup de temps de la part de toutes les parties concernées et coûte cher.
Méthode Delphi modifiée	Le processus est proche de celui de la méthode Delphi traditionnelle mais plusieurs changements sont apportés au déroulement des opérations, généralement dans le but de réduire le temps que les participants consacrent aux enquêtes et les coûts qu'elles engendrent. De nombreux modèles d'élicitation fondés sur la méthode Delphi modifiée ont deux cycles, mais il n'existe pas de format standard. Les méthodes Delphi modifiées ont permis aux chercheurs de faire participer davantage d'experts et de faciliter l'élicitation à distance. Les méthodes de ce type sont utilisées par des organisations telles que l'OMS et la NASA.
Protocoles IDEA	<p>Les protocoles IDEA constituent un ensemble de bonnes pratiques bien documentées concernant les méthodes d'élicitation d'experts. On distingue deux modèles principaux: les questions en trois étapes et les questions en quatre étapes. Le modèle en trois étapes sert uniquement à déterminer les probabilités d'un événement unique. Il permet d'«estimer des quantités numériques ou des probabilités – pour obtenir des approximations de faits qui peuvent faire l'objet d'un examen croisé et être utilisés pour étayer des décisions et des modèles (Morgan, 2014, tel que cité dans Hemming <i>et al.</i>, 2017)».</p> <p>Les trois étapes correspondent aux trois estimations relatives à chaque question de l'enquête: 1) la plus faible probabilité plausible; 2) la plus forte probabilité plausible; 3) la meilleure estimation de la probabilité.</p> <p>On peut également avoir recours à l'approche en quatre étapes pour obtenir une estimation du nombre et de la fréquence prévus des événements: 1) la plus petite valeur plausible; 2) la plus grande valeur plausible; 3) la meilleure estimation de la valeur; et 4) une évaluation du niveau de confiance des estimations (entre 50 et 100 pour cent de confiance).</p> <p>Les élicitations d'experts fondées sur le protocole IDEA ont une structure proche de celle de la méthode Delphi modifiée, mais elles ne doivent pas nécessairement être axées sur la recherche d'un consensus majoritaire (Speirs-Bridge <i>et al.</i>, 2010, cité dans Hemming <i>et al.</i>, 2017).</p>
Méthode Cooke (pondération des réponses)	Plutôt que de pondérer toutes les opinions des experts de manière égale (approche classique), une méthode est mise au point afin de déterminer le niveau d'expertise de chaque expert et de pondérer les réponses en conséquence. Les experts reçoivent un questionnaire avant le premier cycle de l'enquête afin que l'on puisse déterminer le «coefficient de pondération» à appliquer à leur réponse lorsque les données sont agrégées. La méthode Cooke s'est révélée utile pour faire la distinction entre les experts qui possèdent des connaissances théoriques solides et ceux qui ont une grande expérience de terrain et des connaissances appliquées (Aspinall, 2010). Selon l'étape de l'élicitation d'experts dont il s'agit, il peut être important d'attribuer un coefficient de pondération aux différents experts.

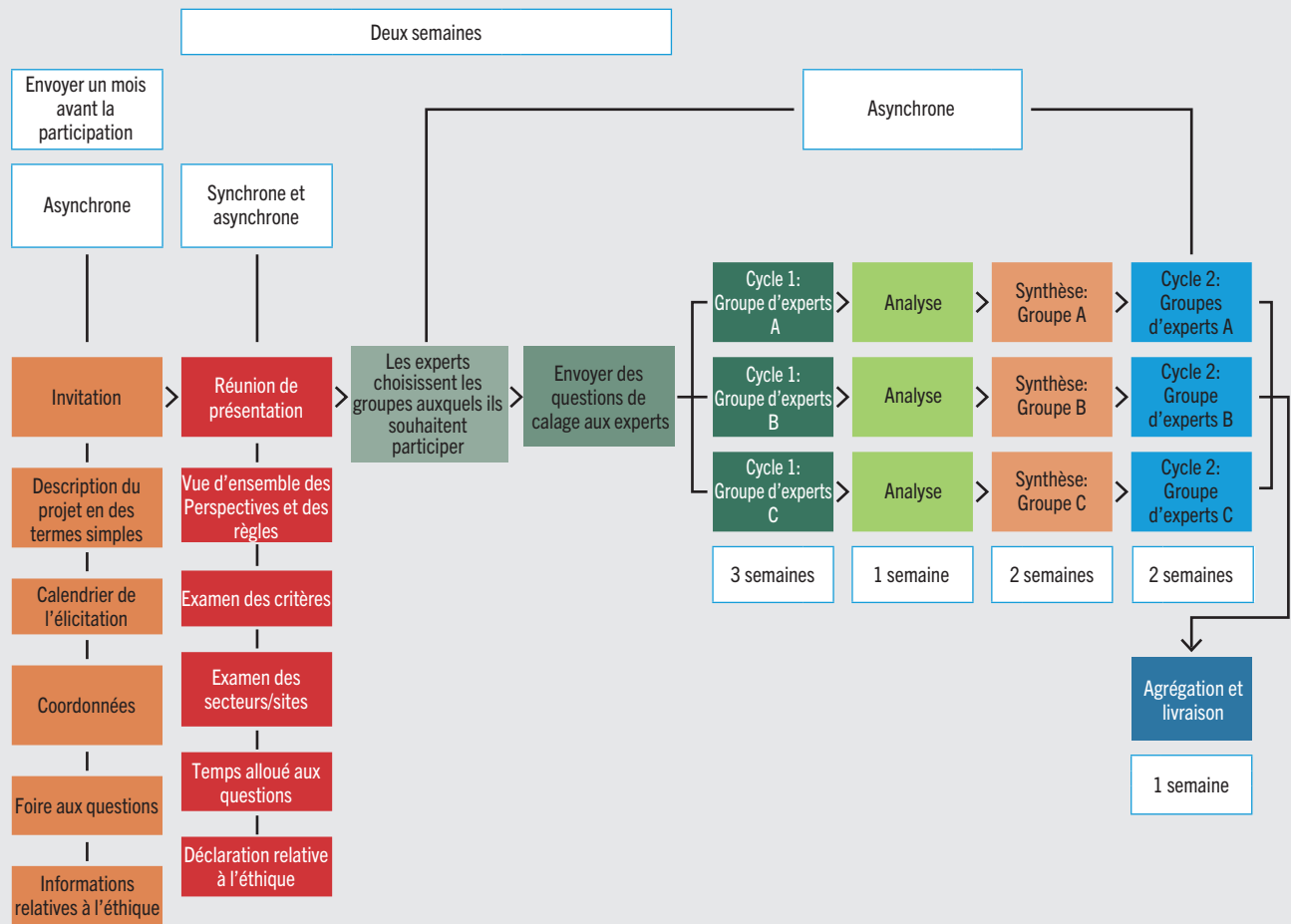
dans plusieurs langues et, dans la mesure du possible, à distance et en direct, afin que les participants soient aussi nombreux que possible et qu'ils aient plus de chances de comprendre l'objectif de l'exercice (McBride *et al.*, 2012, cité dans Hemming *et al.*, 2017). La réunion de présentation doit avoir lieu au moins deux semaines avant le premier cycle d'élicitation (Hemming *et al.*, 2017).

- a. Elle sera l'occasion d'expliquer aux participants qu'ils sont autorisés à «rechercher des informations auprès de toute personne extérieure au groupe et à en discuter avec elles», mais pas à «discuter du contenu entre eux en dehors du processus d'élicitation» afin que les difficultés et

contraintes liées à ce genre d'exercice («réflexion de groupe») soient réduites.

- b. Les experts pourront ensuite demander des précisions et les animateurs de la réunion donneront un aperçu des types de questions qui leur seront posées (questionnaires à choix multiples, matrices, etc.) et de la manière d'y répondre.
 - c. Les réponses apportées aux questions posées à la fin de la réunion de présentation doivent être consignées et mises à la disposition des experts afin qu'ils puissent les consulter à tout moment au cours de l'enquête.
3. **Élicitation d'experts: premier cycle.** Lors du premier cycle, les experts recevront un lien URL leur donnant accès à une enquête en ligne. Cette étape sera menée de manière asynchrone.

ENCADRÉ C1 EXEMPLE DE DÉROULEMENT DES ACTIVITÉS POUR L'ÉLICITATION D'EXPERTS



Les experts disposeront de trois semaines pour compléter le premier cycle ou répondre à l'enquête. Des instructions seront fournies et les experts pourront créer un nom d'utilisateur qui ne permet pas de les identifier. Ils pourront demander des précisions à tout moment au cours de la période de trois semaines et auront accès à une foire aux questions liée au portail de recherche de l'élicitation d'experts (Hemmings *et al.*, 2017).

4. Analyse et retour d'information. Les chercheurs passeront une semaine à nettoyer et normaliser les données du premier cycle, à agréger les estimations, à créer des graphiques

et des tableaux récapitulatifs et à élaborer un document où des commentaires pourront être insérés dans n'importe quelle partie (Hemmings *et al.*, 2017).

5. Synthèse. L'étape de synthèse se déroulera de manière asynchrone. Durant deux semaines, les experts pourront consulter toutes les données recueillies au cours du premier cycle (toutes les réponses seront affichées de manière anonyme). Le chercheur produira également un enregistrement d'écran afin de présenter brièvement les résultats du premier cycle en mettant en lumière les divergences d'opinion et en posant des questions qui invitent à

la réflexion. Ils préciseront ou redéfiniront également les termes utilisés dans l'enquête ou dans les résultats, selon les besoins (Hemmings *et al.*, 2017).

6. **Élicitation d'experts: deuxième cycle.** Les experts disposeront de deux semaines pour formuler des observations au sujet de n'importe quelle partie des données et modifier ou développer leurs réponses initiales. Ils pourront également répondre aux observations d'autres experts ou étoffer leurs réponses. Des rappels seront envoyés aux experts trois jours avant le début du deuxième cycle et trois jours avant la date limite (Hemmings *et al.*, 2017).

7. **Agrégation.** Toutes les données seront contrôlées afin qu'il n'y ait pas d'erreurs, des intervalles de confiance standard seront calculés, les données seront regroupées et les estimations finales seront converties en graphiques, tableaux et observations. Les données seront téléchargées sur le portail de recherche lié au processus d'élicitation afin que tous les experts puissent les consulter et les approuver (Hemmings *et al.*, 2017). Cette étape durera environ une semaine, en fonction de la taille du vivier d'experts et du nombre de groupes créés. Il faudra plus de temps pour regrouper les données et présenter une comparaison entre tous les groupes d'experts.

ANNEXE D

AVANÇÉES ÉMERGENTES EN MATIÈRE DE STI

Comme nous l'avons vu précédemment, la première étape de l'élaboration d'indicateurs fondés sur le traitement du langage naturel (TLN) pour les avancées émergentes en matière de STI consiste à définir les sources de données et à établir des cibles claires pour chaque source. Ces cibles doivent être conformes à la vision globale du projet ou à l'analyse finale des données afin de réduire le bruit dans ces dernières. Les données sont ensuite intégrées dans une base de données générale de stockage et de traitement au moyen d'une API ou d'un code personnalisé de «web scraping», avec une application de serveur web. Les données font l'objet d'un prétraitement qui permet d'évaluer leur structure (lorsqu'elles sont récupérées via des API) puis d'un nettoyage général avant d'être placées dans un pipeline d'enrichissement. Le pipeline d'enrichissement lance le processus d'IA. Les modèles de ce projet ont été optimisés afin de procéder uniquement à la classification et à l'extraction des informations, à l'aide de méthodes non supervisées et semi-supervisées. Le processus de modélisation est décrit plus en détail ci-après. Le processus d'extraction et de classification des informations s'achève par l'application d'une série d'étiquettes aux données.

Résultats

Première étape: modélisation des sujets

La modélisation de sujets fondée sur l'allocation de Dirichlet latente (LDA, Latent Dirichlet Allocation), l'analyse sémantique latente (LSA, Latent semantic analysis) ou l'analyse sémantique latente probabiliste (pLSA, Probabilistic Latent Semantic Analysis) et la factorisation matricielle non négative (NMF, Non-negative Matrix Factorization) est utilisée depuis longtemps pour l'analyse sémantique des ensembles de données (Jelodar *et al.*, 2019). Ce type de modèle utilise des

caractéristiques telles que la synonymie – relation entre des mots différents décrivant la même idée – et la polysémie – un même mot décrivant plusieurs idées. Plusieurs étapes sont nécessaires pour extraire les sujets – prétraitement (normalisation du texte, lemmatisation et extraction des syntagmes), vectorisation (TF-IDF [fréquence du terme – fréquence inverse de document]) et suppression des mots vides (et, le, en, etc.) – avant de créer un modèle de sujets au moyen d'approches telles que la factorisation matricielle non négative.

L'extraction des sujets est principalement un processus non supervisé d'apprentissage automatique, ce qui signifie qu'il n'y a pas d'autre entrée humaine que les données et le code statistique. La modélisation des sujets est évaluée à l'aide d'hyperparamètres, c'est-à-dire de paramètres dont la valeur peut être utilisée pour contrôler le processus d'apprentissage automatique. Il n'existe pas d'étalon avec lequel effectuer des comparaisons, car l'interprétabilité ne peut pas être mesurée, mais on détermine la performance du modèle à l'aide de mesures de cohérence. Ces mesures de cohérence (information mutuelle spécifique [PMI – Pointwise Mutual Information], par exemple) correspondent à la moyenne/médiane des scores de similitude des paires de mots dans les sujets. Plus la cohérence est élevée, plus la performance de la modélisation des sujets est satisfaisante (Röder *et al.*, 2015). Plusieurs modèles ont été créés pour différents nombres de sujets, puis évalués à l'aide d'une mesure de cohérence qui a permis d'établir que 20 sujets présentaient les scores de cohérence les plus élevés.

La **Figure D1** présente ces 20 sujets en fonction du nombre de documents publiés chaque mois en 2021. Cet éclairage peut donner des

FIGURE D1 SUJETS MIS EN ÉVIDENCE DANS LES DONNÉES DE BREVET

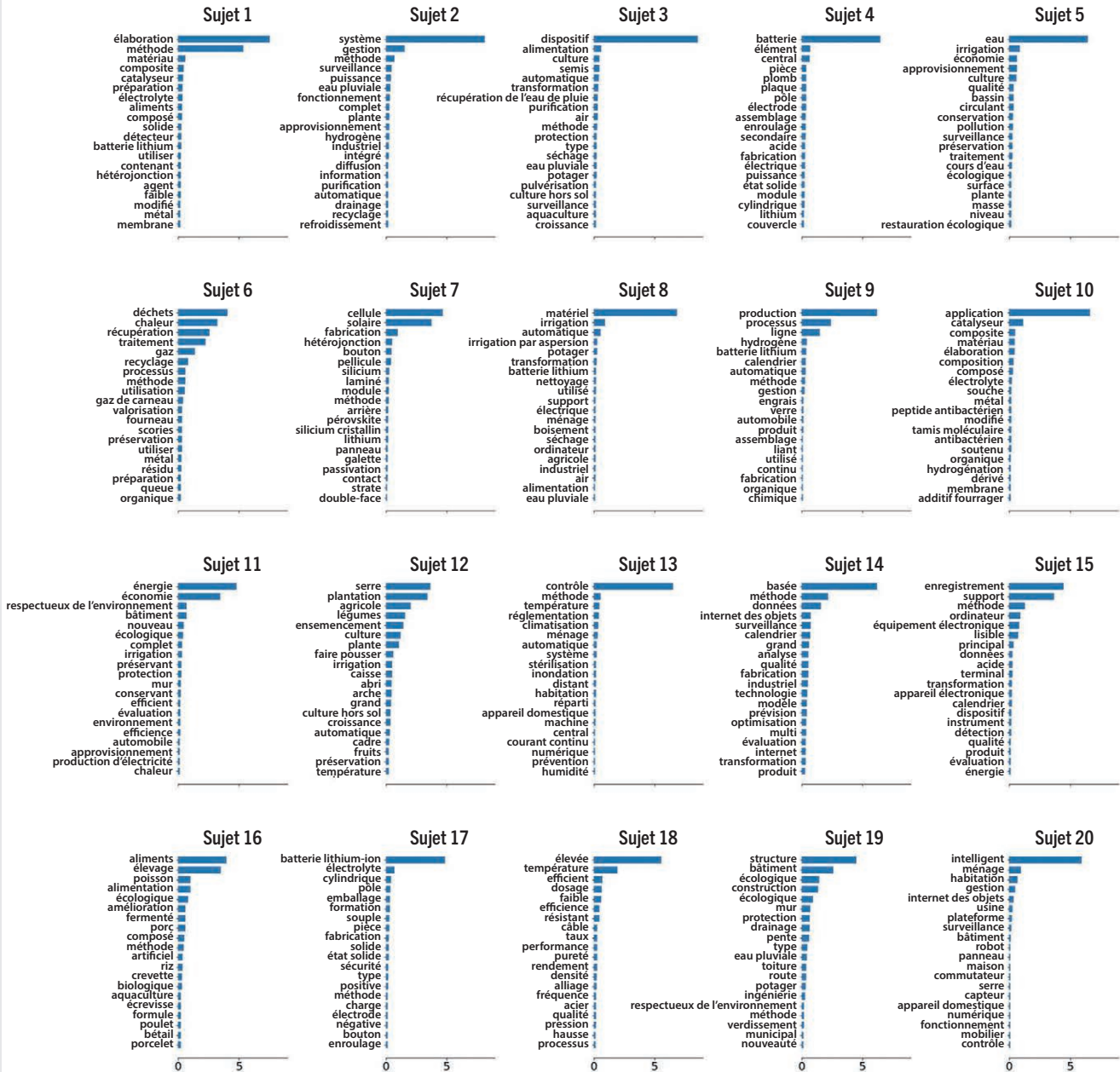


FIGURE D2 NOMBRES DE DOCUMENTS PAR SUJET ET PAR MOIS, 2021

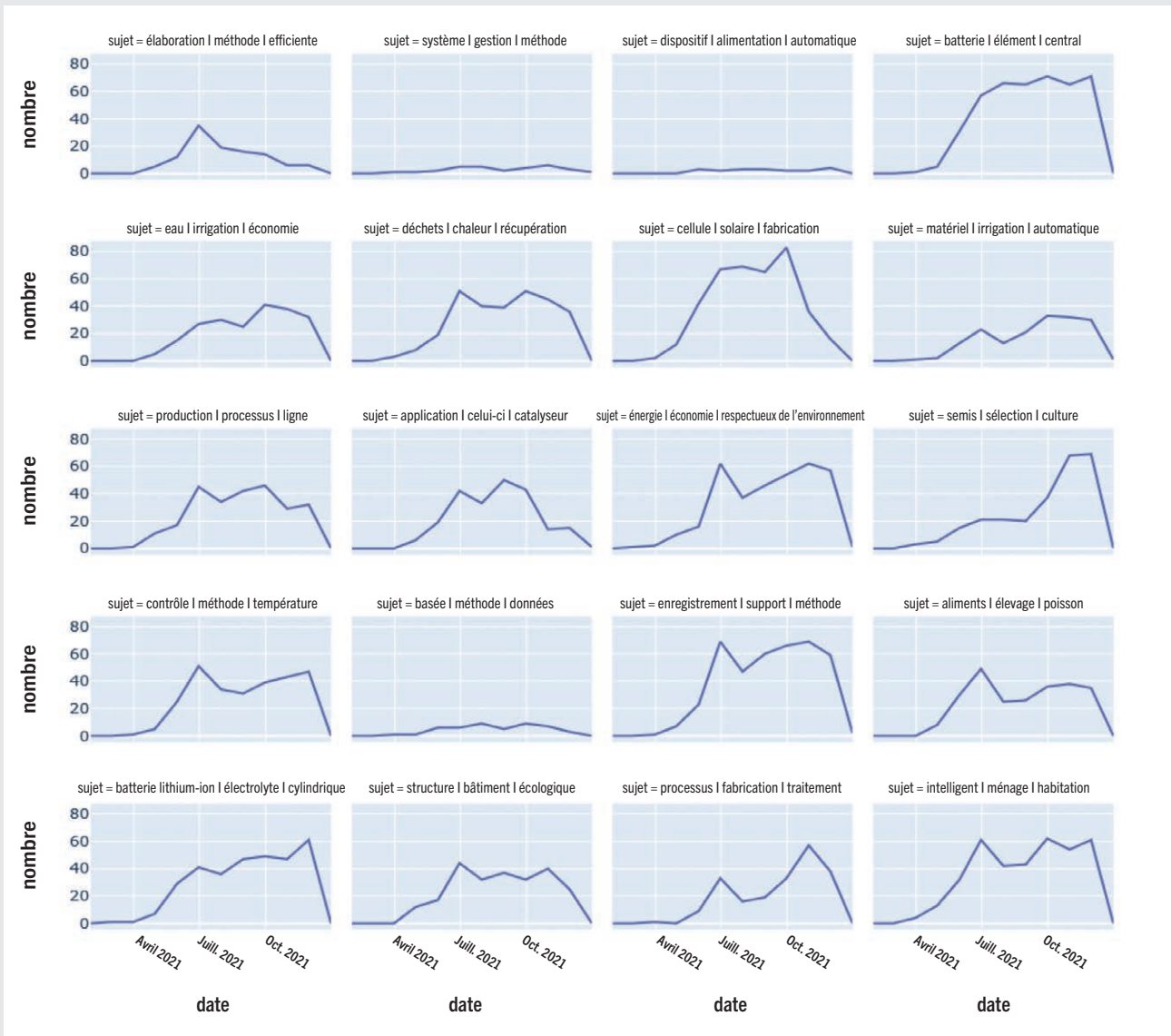


FIGURE D3 PONDÉRATION DES SUJETS

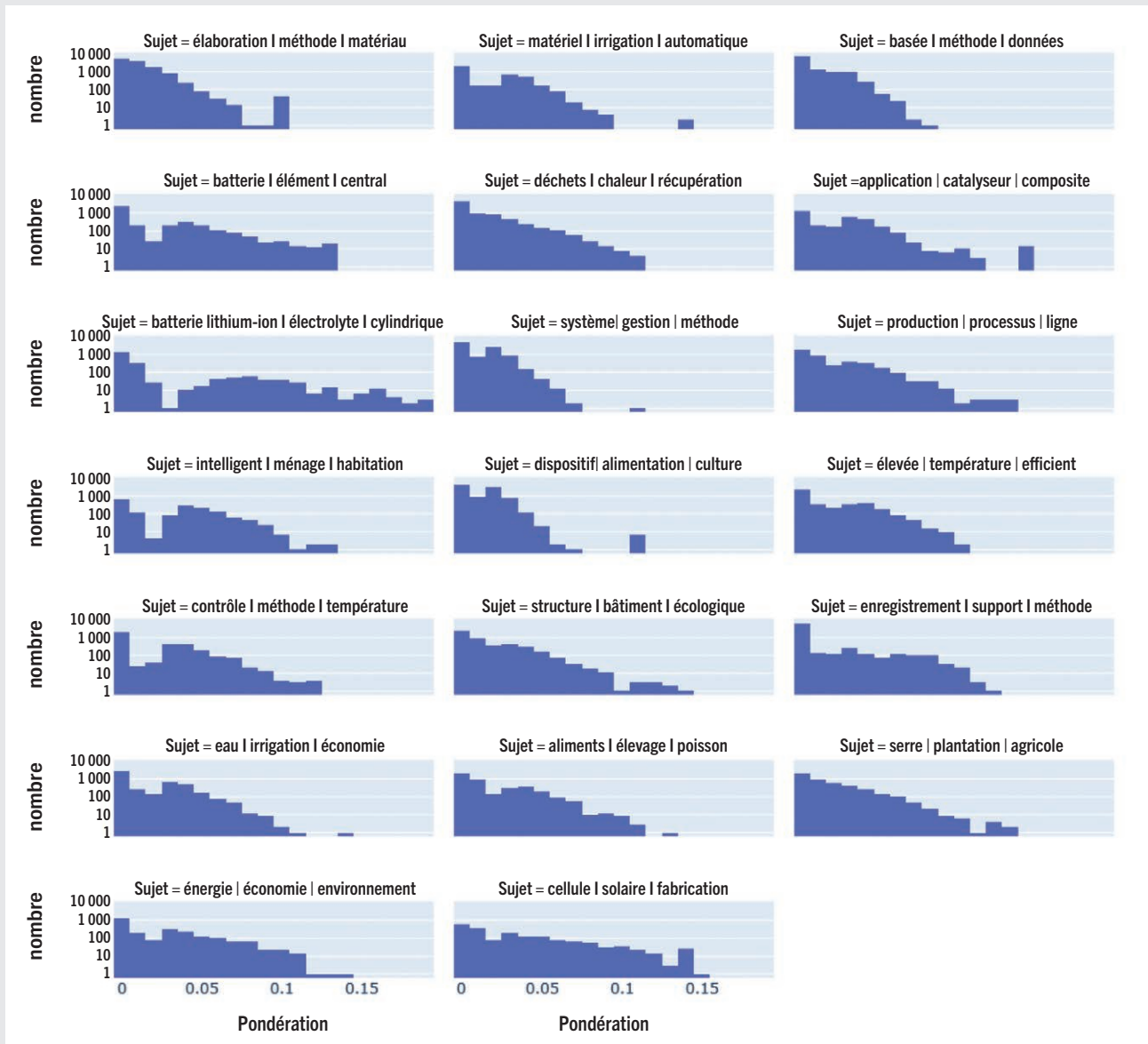


FIGURE D4 CORRÉLATION ENTRE LES INTERVENTIONS TROUVÉES ET LES SUJETS DÉTECTÉS

Corrélation entre les interventions trouvées et les sujets détectés. Les sujets détectés apparaissent sous la forme de chaînes de mots, tandis que les interventions «found_raw» et les interventions «found_extracted» se présentent sous la forme de corrélations entre les sujets et les interventions, comprises entre 0 et 1. Plus la valeur est élevée – 0,25 pour «semis, sélection, culture», par exemple – plus il est probable que les interventions seront pertinentes et adaptées.

Modèles de sujets simples	Interventions trouvées (<i>found</i>)	Interventions extraites (<i>extracted</i>)
Aliment élevage poisson	0,012	0,026
Batterie lithium-ion électrolyte cylindrique	0,065	0,079
Élevée température efficient	0,003	0,007
Structure bâtiment écologique	0,078	0,041
Élaboration méthode celui-ci	0,165	0,105
Système gestion méthode	0,061	0,089
Dispositif alimentation automatique	0,029	0,062
Batterie élément central	0,008	0
Eau irrigation économie	0,052	0,065
Déchets chaleur récupération	0,076	0,066
Matériel irrigation automatique	0,047	0,045
Cellule solaire fabrication	0,004	0,025
Production ligne automatique	0,068	0,052
Application catalyseur coût	0,088	0,02
Énergie économie respectueux de l'environnement	0,03	0,033
Semis sélection culture	0,254	0,159
Contrôle intelligent ménage	0,137	0,113
Basée méthode données	0,134	0,099
Enregistrement support méthode	0,104	0,056
Serre plantation agricole	0,186	0,097

informations supplémentaires sur les tendances annuelles et leurs performances respectives. Enfin, la [Figure D2](#) présente la répartition du poids des sujets, calculée à partir du nombre de documents rapporté au poids des sujets, ce qui offre une autre possibilité de comparer la performance des sujets au sein du corpus.

La [Figure D3](#) présente la répartition du poids des sujets, calculée à partir du nombre de documents rapporté au poids des sujets. Elle permet de déterminer combien de documents sont associés aux différentes chaînes de trois mots, ce qui offre un autre point de données pour évaluer la fiabilité de la modélisation des sujets.

Deuxième étape: détection des avancées émergentes en matière de STI

Les modèles de *transformer* nécessitent une approche d'apprentissage semi-supervisé, dans laquelle des experts humains examinent et corrigent les données à des intervalles aléatoires et renvoient les données corrigées dans le modèle. Le modèle semi-supervisé relatif aux interventions a été associé aux modèles non supervisés relatifs aux sujets afin d'accélérer le processus de détection des technologies émergentes. La [Figure D4](#) montre le résultat de l'association du modèle d'extraction des interventions aux modèles de sujets, qui vise à déterminer si des interventions pertinentes se retrouvent dans les modèles de sujets. Le modèle extrait les interventions du texte dans ce que l'on appelle un «libellé brut» («raw label») – indiqué dans la colonne intitulée «interventions found_raw»

FIGURE D5 DIFFÉRENTES SOURCES DE BREVETS ET MESURES DE COHÉRENCE PAR RAPPORT AUX MODÈLES DE SUJETS

id	lien du résultat	intitulé	date	élaboration méthode matériau	système gestion méthode	dispositif alimentation culture	batterie élément contrôle	eau irrigation économie	déchets traitement récupération	cellule séchage fabrication	matériau irrigation automatique	production processus ligne	application catalyseur composite	énergie économie respectueux de l'environnement	sem plantation agricole	contrôle méthode température	base méthode données	enregistrement moyen méthode	aliment élevage poisson	batterie lithium-ion électrolyte cylindrique	élevé température efficace	structure bâtiment écologique	intelligent ménage habitation
CN-113689153-A	https://patents.google.com/patent/CN113689153A/en	Méthode de détection des problèmes classiques liés à la livraison d'équipements complexes fondée sur le modèle de prise de décision de la cible grise	#####	0,00126878	0	0	0	0	0	0	0,03091287	0	0	0	0	0,02031219	0	0	0	0	0	0	
CN-113690401-A	https://patents.google.com/patent/CN113690401A/en	Électrode négative métallique en zinc modifiée par un film passif composite à base d'oxyde de zinc, et méthode de préparation et application	#####	0,01632681	0	0	0,002520071	0	7,3586-05	0	0	0	0,02510971	0	0	0	0	0	0,0005797	0	0	0	
CN-113687359-A	https://patents.google.com/patent/CN113687359A/en	Système de gestion de l'état de santé des radars météorologiques à commande de phase	#####	0	0,027355371	0	0	0	0	0	0,00021627	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00216122	
CN-113687361-A	https://patents.google.com/patent/CN113687361A/en	Méthode de traitement d'antenne multicanal simultané fondée sur une technologie d'émission d'onde codée dans l'espace temps-fréquence	#####	0,0003992	0	0,00056707	0	0	0	0	0,00047871	0	0	0	0	0,02639696	0	0	0	0,00020926	0	0	
CN-113686420-A	https://patents.google.com/patent/CN113686420A/en	Système de pesage pour l'injection de liquide dans les batteries lithium-ion	#####	0	0,020559187	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06983467	0	0	0	
CN-113687360-A	https://patents.google.com/patent/CN113687360A/en	Stratégie de balayage pour les radars météorologiques à commande de phase, adaptée pour l'usage météorologique au contrôle de la circulation aérienne dans l'aviation civile	#####	0	0	0,00023426	0	0	0	0	0	0	0	0	0,021542216	0	0	0	0	0	0	0	
CN-113679917-A	https://patents.google.com/patent/CN113679917A/en	Méthode d'appariement intelligente fondée sur le type et l'emplacement des équipements de production	#####	0,00241344	0	0	0	0	0	0	0,033951	0	0	0	0	0,0305389	0	0	0	0	0,00160353	0,04771856	
CN-113671924-A	https://patents.google.com/patent/CN113671924A/en	Méthode de définition de la valeur en temps réel du système intégré de contrôle commande, et système, équipement et support d'enregistrement	#####	0,00021006	0,01806193	0	0	0	0	0	0,0282871	0	0	0	0	0,05906117	0	0	0	0	0	0	
CN-113679971-A	https://patents.google.com/patent/CN113679971A/en	Méthode d'appariement intelligente de l'offre et de la demande de main-d'œuvre en fonction des postes dans l'usine	#####	0,00190218	0,000593015	0	0	0,00324165	0	0	0	0	0	0	0,02791787	0	0	0	0	0	0	0,04252202	
CN-113687639-A	https://patents.google.com/patent/CN113687639A/en	Méthode et système intelligents d'alerte rapide en cas de défaillance des machines textiles	#####	0,00449092	0,017542236	0	0	0	0	0	0,0292433	0	0	0	0,00146273	6,6421E-05	0	0	0	0	0	0,03818407	
CN-113689150-A	https://patents.google.com/patent/CN113689150A/en	Méthode et système de gestion de la chaîne d'approvisionnement pour plateforme de commerce électronique de plaques	#####	0,00592111	0,012972411	0	0	0	0	0	0,00094569	0	0	0	0,00203274	0,00149715	0	0	0	0	0	0,00271493	
FR-2020113453-A	https://patents.google.com/patent/FR2020113453A/en	Système de purification des déchets de terre et de pierre contaminés en vue de leur recyclage	#####	0	0,016288602	0	0	0	0,02523394	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CN-113679915-A	https://patents.google.com/patent/CN113679915A/en	Système d'analyse et de contrôle de la qualité des poches en polypropylène pour pellicule intravasculaire fondé sur le suivi du cycle complet de production	#####	0	0,013428597	0	0	0,00117027	0	0	0,02080249	0	0	0	0,02069634	0	0	0	0	0	0	0	
CN-11367820-A	https://patents.google.com/patent/CN11367820A/en	Méthode, dispositif et équipement de traitement par lot sur la ligne de production, et support d'enregistrement flexible	#####	0	0	0,01625051	0	0	0	0	0,01919725	0,04417188	0	0	0	0,07601188	0	0	0	0	0	0	
CN-113675479-A	https://patents.google.com/patent/CN113675479A/en	Processus de préparation et application d'une batterie lithium gel	#####	0,02256814	0	0	0	0,0006305	0	0,00057064	0,03038795	0,04888466	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CN-113675457-A	https://patents.google.com/patent/CN113675457A/en	Électrolyte de batterie lithium, méthode de préparation de celui-ci et batterie lithium	#####	0,03253384	0	0,000516504	0,00027178	0	0	0	0,00232106	0,000510978	0	0	0	0	0	0	0,01248496	0	0,00114216	0	
CN-11365768-A	https://patents.google.com/patent/CN11365768A/en	Méthode de contrôle de rendement d'assemblage, équipement et support d'enregistrement flexible par ordinateur	#####	0	0	0	0,00043042	0	0	0	0,03229965	0	0	0	0,036693694	0,08348763	0	0	0,00052299	0	0	0	
DE-20202110711-1U1	https://patents.google.com/patent/DE20202110711U1/en	Caverne pour animaux d'aquarium	#####	0	0	0	0	0,00043103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,97292-05	0	0	0	

– avant d’explorer le graphe de connaissances plus large du modèle afin de déterminer si l’intervention, ou un élément s’en rapprochant, a été vue auparavant par le modèle – colonne «extracted interventions». On note une corrélation plus forte entre les interventions trouvées («found») et les sujets, ce qui indique qu’on peut utiliser l’étiquetage des sujets pour les nouvelles données avant de recourir à une extraction des interventions, opération qui est onéreuse et prend du temps.

Troisième étape: analyse des sources et extraction des informations

La dernière étape avant l’analyse consiste à sélectionner les candidats pour l’examen des sources. Dans l’exemple ci-après (Figure D5), les différentes sources de brevets sont fournies avec une mesure de cohérence reposant uniquement sur les modèles de sujets. Dans les futurs travaux, on examinera la cohérence avec les interventions brutes et les interventions extraites, conformément à l’étape n° 2.

Les sources les plus pertinentes seront sélectionnées en vue d’une analyse plus approfondie visant à extraire des interventions spécifiques et d’autres paramètres. Une feuille de calcul répertoriant les résultats selon les brevets sera communiquée sur demande dans un fichier numérique distinct.

Quatrième étape: examen des ressources en ligne

Les données sont triées dans un document en ligne aux fins d’examen, d’analyse et d’ajustement. Il s’agit d’un processus itératif qui nécessite des retours de la part de l’équipe chargée des recherches.

RÉFÉRENCES

- Acemoglu, D.S., Johnson, S. & Robinson, J.A.** 2005. Institutions as a fundamental cause of long-run growth. Dans: P. Aghion et S.N. Durlauf (dir. publ.), *Handbook of Economic Growth*, volume 1 part A: 385-472.
- Acevedo, M., Pixley, K., Zinyengere, N., Meng, S., Tufan, H., Cichy, K., Bizikova, L., Isaacs, K., Ghezzi-Kopel, K. et Porciello, J.** 2020. A scoping review of adoption of climate-resilient crops by small-scale producers in low- and middle-income countries. *Nature Plants*, 6(10), 1231-1241. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-00783-z>.
- African Crowdfunding Association.** Members Directory. [Référéncé le 21 janvier 2022] <https://africancrowd.org/members-directory/>.
- Afshin, A., Micha, R., Khatibzadeh, S., Schmidt, L.A. et Mozaffarian, D.** 2014. Dietary Policies to Reduce Non-Communicable Diseases. Dans: *The Handbook of Global Health Policy*, p. 175-193. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118509623.ch9>.
- AgFunder Network.** 2022. AgFunder AgriFoodTech Investment Report. <https://agfundernews.com/agfunder-agrifoodtech-investment-report-startups-net-52bn-in-2021-doubling-2020-total>.
- Aghion, P. et Jaravel, X.** 2015. Knowledge spillovers, innovation and growth. *Economic Journal*, 125(583): 533-573.
- Ahmadpoor, M. et Jones, B.F.** 2017. The dual frontier: Patented inventions and prior scientific advance. *Science*, 357(6351): 583-587.
- Alston, J.M. et Pardey, P.G.** 2021. The economics of agricultural innovation. Dans: C.B. Barrett et D.R. Just (dir. publ.), *Handbook of Agricultural Economics*, 5: 3895-3980. Amsterdam (Pays-Bas).
- Alston, J.M., Pardey, P.G. et Rao, X.** 2022. Payoffs to a half century of CGIAR research. *American Journal of Agricultural Economics*, 104(2): 502-529.
- ANDE.** Aspen Network of Development Entrepreneurs. [Référéncé le 24 janvier 2022] <https://www.andeglobal.org/>.
- Antle, J.M. et Valdivia, R.O.** 2021. Trade-off analysis of agrifood systems for sustainable research and development. *Q Open*, 1(1): qaaa005.
- Antonelli, M., Basile, L., Gagliardi, F., Riccaboni, A. et Isernia, P.** 2019. 2019 AGRIFOODMED DELPHI. Trends challenges and policy options for Water Management, Farming Systems and Agrifood Value Chains in 2020-2030. <https://www.researchgate.net/publication/333872330>.
- Archer Daniels Midland Company.** 2020. Annual Report 2019. https://s1.q4cdn.com/365366812/files/doc_financials/2019/ar/ADM-Proxy-Materials.pdf.
- Arthur, W.B.** 2009. *The Nature of Technology: What it is and how it evolves*. New York (États-Unis), Simon and Schuster.
- Aspen Network of Development Entrepreneurs.** The leading voice of the small and growing business sector. [Référéncé le 21 février 2022] <https://www.andeglobal.org/>.
- Aspinall, W.** 2010. A Route to More Tractable Expert Advice. *Nature*, 463(7279): 294-295. <https://doi.org/10.1038/463294a>.
- Aspinall, W.P., Cooke, R.M., Havelaar, A.H., Hoffmann, S. et Hald, T.** 2016. Evaluation of a Performance-Based Expert Elicitation: WHO Global Attribution of Foodborne Diseases. *PLoS ONE*, 11(3): e0149817. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149817>.
- Baltenweck, I., Cherney, D., Duncan, A., Eldermire, E., Lwoga, E.T., Labarta, R., Rao, E.J.O., Staal, S. et Teufel, N.** 2020. A scoping review of feed interventions and livelihoods of small-scale livestock keepers. *Nature Plants*, 6(10): 1242.1249. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-00786-w>.
- Groupe de la Banque mondiale.** 2019. *Future of Food: Harnessing Digital Technologies to Improve Food System Outcomes*. Banque mondiale, Washington.
- Barrett, C. B.** 1997. Idea gaps, object gaps, and trust gaps in economic development. *Journal of Developing Areas*, 31(4): 553-568.
- Barrett, C.B.** 2010. Measuring food insecurity. *Science*, 327, n° 5967: 825-828.
- Barrett, C.B.** 2021a. Overcoming global food security challenges through science and solidarity. *American Journal of Agricultural Economics*, 103(2): 422-447.
- Barrett, C.B.** 2021b. On design-based empirical research and its interpretation and ethics in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(29): e2023343118.
- Barrett, C.B., Beaudreault, A.R., Meinke, H., Ash, A., Ghezae, N., Kadiyala, S., Nigussie, M., Smith, A.G. et Torrance, L.** 2021a. Foresight and trade-off analyses: Tools for science strategy development in agriculture and food systems research. *Q Open*, 1(1): qaaa002.
- Barrett, C.B. et Carter, M.R.** 2020. Finding our balance? Revisiting the randomization revolution in development economics ten years further on. *World Development*, 127: 104789.
- Barrett, C.B. et Carter, M.R.** 2010. The power and pitfalls of experiments in development economics: Some non-random reflections. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 32(4): 515-548.
- Barrett, C.B., Ghezzi-Kopel, K., Hoddinott, J., Homami, N., Tennant, T., Upton, J. et Wu, T.** 2021b. A scoping review of the development resilience literature: Theory, methods and evidence. *World Development*, 146: 105612.

Barrett, C.B., Benton, T., Fanzo, J., Herrero, M., Nelson, R.J., Bageant, E., Buckler, E., Cooper, K., Culotta, I., Fan, S., Gandhi, R., James, S., Kahn, M., Lawson-Lartego, L., Liu, J., Marshall, Q., Mason-D'Croz, D., Mathys, A., Mathys, C., Mazariegos-Anastassiou, V., Miller, A., Misra, K., Mude, A.G., Shen, J., Sibanda, L.M., Song, C., Steiner, R., Thornton, P. et Wood, S. 2022a. *Socio-technical Innovation Bundles for Agrifood Systems Transformation*, Londres. Palgrave Macmillan.

Barrett, C.B., Islam, A., Malek, A.M., Pakrashi, D. et Ruthbah, U. 2022b. Experimental evidence on adoption and impact of the system of rice intensification. *American Journal of Agricultural Economics*, 104(1): 4-32.

Barrett, C.B., Reardon, T., Swinnen, J. et Zilberman, D. 2022c. Agrifood value chain revolutions in low-and middle-income countries, *Journal of Economic Literature*, 60(4): à paraître.

Bell, W. 1996. An Overview of Futures Studies., p. 28-56 et 290, 1996. https://www.researchgate.net/publication/265186494_An_overview_of_futures_studies.

Bishop, C.M. et Nasrabadi, N.M. 2006. *Pattern recognition and machine learning* (Vol. 4, N° 4, p. 738). New York (États-Unis), Springer.

Bizikova, L., Nkonya, E., Minah, M., Hanisch, M., Turaga, R.M.R., Speranza, C., Karthikeyan, M., Tang, L., Ghezzi-Kopel, K., Kelly, J., Celestin, A.C. et Timmers, B. 2020. A scoping review of the contributions of farmers' organizations to smallholder agriculture. *Nature Food*, 1(10): 620-630. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00164-x>.

Blut, M. et Wang, C. 2020. Technology readiness: A meta-analysis of conceptualizations of the construct and its impact on technology usage. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 48(4): 649-69. <https://doi.org/10.1007/s11747-019-00680-8>.

Bojke, L., Soares, M., Claxton, K., Colson, A., Fox, A., Jackson, C., Jankovic, D., Morton, A., Sharples, L. et Taylor, L. 2021. Good practice in structured expert elicitation: Learning from the available guidance. Developing a reference protocol for structured expert elicitation in health-care decision-making: A mixed-methods study. *NIHR Journals Library*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK571059/>.

Boldrin, M. et Levine, D.K. 2013. The case against patents. *Journal of Economic Perspectives*, 27(1): 3-22.

Boone, C., Lokshin, B., Guenter, H. et Belderbos, R. 2019. Top management team nationality diversity, corporate entrepreneurship, and innovation in multinational firms. *Strategic Management Journal*, 40(2): 277-302. <https://doi.org/10.1002/smj.2976>.

Bornmann, L. et Mutz, R. 2015. Growth rates of modern science: A bibliometric analysis based on the number of publications and cited references. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 66: 2215-2222.

Burgman, M.A., McBride, M., Ashton, R., Speirs-Bridge, A., Flander, L., Wintle, B., Fidler, F., Rumpff, L. et Twardy, C. 2011. Expert Status and Performance. *PLoS ONE*, 6(7), e22998. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022998>.

Campi, M. et Nuvolari, A. 2021. Intellectual property rights and agricultural development: Evidence from a worldwide index of IPRs in agriculture (1961-2018). *Journal of Development Studies*, 57(4), 650-668.

Cattaneo, A., Sánchez, M.V., Torero, M. et Vos, R. 2021. Reducing food loss and waste: Five challenges for policy and research. *Food Policy*, 98: 101974.

Chai, Y., Pardey, P.G., Chan-Kang, C., Huang, J., Lee, K. et Dong, W. 2019. Passing the food and agricultural R&D buck? The United States and China. *Food Policy*, 86: 101729.

Chavas, J.-P., Aliber, M. et Cox, T.L. 1997. An analysis of the source and nature of technical change: the case of US agriculture. *Review of Economics and Statistics*, 79(3): 482-492.

Chrysafi, A. et al. 2022. Quantifying Earth system interactions for sustainable food production via expert elicitation. *Nature Sustainability*, <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00940-6>.

Clancy, M.S. et Moschini, G. 2017. Intellectual property rights and the ascent of proprietary innovation in agriculture. *Annual Review of Resource Economics*, 9: 53-74.

Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED). Non daté. Rapport sur la technologie et l'innovation. <https://unctad.org/topic/science-technology-and-innovation/technology-innovation-report>.

CNUCED, Rapport sur la technologie et l'innovation. 2021. Prendre les vagues technologiques: L'innovation dans l'équité. New York (États-Unis). <https://unctad.org/fr/webflyer/rapport-sur-la-technologie-et-linnovation-2021>.

Cole, Z.D., Donohoe, H.M. et Stelfson, M.L. 2013. Internet-based Delphi research: Case based discussion. *Environmental Management*, 51(3): 511-523. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-0005-5>.

Commission on Sustainable Agriculture Intensification (CoSAI). 2021. Reorienting funding for research and innovation is an urgent step to transform agrifood systems. Policy Brief #1.

CompassList. Startups. [Référéncé le 15 février 2022] <https://www.compasslist.com/startups>.

Cremades, A. 2019. How Startup Accelerators Work. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/alejandrocremades/2019/01/10/how-startup-accelerators-work/>.

Danneels, E. 2004. Disruptive technology reconsidered: A critique and research agenda. *Journal of Product Innovation Management*, 21(4): 246-258. <https://doi.org/10.1111/j.0737-6782.2004.00076.x>.

RÉFÉRENCES

- de Haas, J. 2021. Food System Game Changers Lab. Thought for Food. <https://thoughtforfood.org/gamechangerslab/>.
- Dehmer, S.P., Pardey, P.G., Beddow, J.M. et Chai, Y. 2019. Reshuffling the global R&D deck, 1980-2050. *PLoS ONE* 14(3): e0213801.
- d'Odorico, P., Carr, J.A., Laio, F., Ridolfi, L. et Vandoni, S. 2014. Feeding humanity through global food trade. *Earth's Future* 2(9): 458-69.
- Downs, S.M., Ahmed, S., Fanzo, J. et Herforth, A. 2020. Food environment typology: advancing an expanded definition, framework, and methodological approach for improved characterization of wild, cultivated, and built food environments toward sustainable diets. *Foods*, 9(4), 532.
- Fanzo, J., Haddad, L., Schneider, K.R., Béné, C., Covic, N.M., Guarin, A., Herforth, A.W. et al. 2021. Rigorous monitoring is necessary to guide food system transformation in the countdown to the 2030 global goals. *Food Policy*, 104: 102163.
- FAO. 2019. *Proceedings of the International Symposium on Agricultural Innovation for Family Farmers - Unlocking the potential of agricultural innovation to achieve the Sustainable Development Goals*. Rome, FAO.
- FAO. 2021. *Cadre stratégique 2022–2031*. Rome, FAO. <https://www.fao.org/3/cb7099fr/cb7099fr.pdf>.
- FAO. 2022. *Stratégie de la FAO en matière de science et d'innovation*, 170^e session du Conseil de la FAO, 13-17 juin 2022. Rome, FAO. <https://www.fao.org/3/ni707fr/ni707fr.pdf>.
- Feed 9 B. Asia's ecosystem platform promoting collaboration, innovation and sustainability to feed 9.8 billion people by 2050. [Référéncé le 6 février 2022] <https://feed9b.asia/>.
- Feinstein, J. 2011. Optimal learning patterns for creativity generation in a Field. *American Economic Review Papers and Proceedings*, 101(3): 227-232.
- Fluxx Grantseeker. Free Grants Management for Nonprofits. [Référéncé le 4 février 2022] <https://grantseeker.fluxx.io/>.
- FoodHack. Global Community for Food Innovators. [Référéncé le 5 février 2022] <https://foodhack.global/database/investors>.
- Food Systems Dashboard. 2020. Global Alliance for Improved Nutrition (GAIN) and Johns Hopkins University. Genève (Suisse). DOI: <https://doi.org/10.36072/db>.
- Forum économique mondial. Challenge List. Uplink. [Référéncé le 8 février 2022] https://uplink.weforum.org/uplink/s/uplink-issue/Uplink_Issue__c/00B2o0000A1qleEAL.
- Fricko, O., Havlik, P., Rogelj, J., Klimont, Z., Gusti, M., Johnson, N., Kolp, P., Strubegger, M., Valin, H., Amann, M. et Ermolieva, T. 2017. The marker quantification of the shared socioeconomic pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century. *Global Environmental Change*, 42: 251-267.
- Fritz, S., See, L., Bayas, J. C. L., Waldner, F., Jacques, D., Becker-Reshef, I., Whitcraft, A., Baruth, B., Bonifacio, R., Crutchfield, J., Rembold, F., Rojas, O., Schucknecht, A., Van der Velde, M., Verdin, J., Wu, B., Yan, N., You, L., Gilliams, S. et McCallum, I. 2019. A comparison of global agricultural monitoring systems and current gaps. *Agricultural Systems*, 168: 258-272. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.05.010>.
- Fukase, E. et Martin, W. 2020. Economic growth, convergence, and world food demand and supply. *World Development*, 132: 104954.
- Ganguly, A., Nilchiani, R. et Farr, J.V. 2010. Defining a set of metrics to evaluate the potential disruptiveness of a technology. *Engineering Management Journal*, 22(1): 34-44. <https://doi.org/10.1080/10429247.2010.11431851>.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). 2019. *Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Dir. publ. P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J.P. Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi et J. Malley.
- Global Innovation Exchange. Results for Development. [Référéncé le 9 septembre 2022] <https://r4d.org/resources/global-innovations-exchange-public-good-export/>.
- Groupe mondial d'experts sur l'agriculture et les systèmes alimentaires au service de la nutrition (GloPan). 2016. *Food systems and diets: Facing the challenges of the 21st century*. Londres.
- GloPan. 2020. *Future food systems: For people, our planet, and prosperity*. Londres.
- Glover, D. 2011. The system of rice intensification: time for an empirical turn. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 57(3-4): 217-224.
- Goldman, S. VC Fund Database for Early-Stage Startups. [Référéncé le 10 février 2022] <https://www.airtable.com/universe/expFo1yNQPYwhey5n/vc-funds-for-early-stage-startups>.
- Gollin, D., Hansen, C.W. et Wingender, A.M. 2021. Two blades of grass: The impact of the green revolution. *Journal of Political Economy*, 129(8): 2344-2384.
- Graff, G.D. et Pardey, P.G. 2020. Inventions and patenting in Africa: empirical trends from 1970 to 2010. *Journal of World Intellectual Property*, 23(1-2): 40-64.
- Haddad, L., Hawkes, C., Waage, J., Webb, P., Godfray, C. et Toulmin, C. 2016. *Food systems and diets: Facing the challenges of the 21st century*. Global Panel on Agriculture and Food Systems for Nutrition. Londres.

Hamilton, S.F., Richards, T.J. et Roe, B. 2022. Food waste: Farms, distributors, retailers, and households. Dans: C. B. Barrett et D.R. Just (dir. publ.), *Handbook of Agricultural Economics, volume 6*. Amsterdam, Elsevier.

Hargrave, T. J. et van de Ven, A.H. 2006. A collective action model of institutional innovation. *Academy of Management Review*, 31(4): 864-888. <https://doi.org/10.5465/amr.2006.22527458>.

Hasegawa, T. et al. 2018. Risk of increased food insecurity under stringent global climate change mitigation policy. *Nature Climate Change*, 8(8): 699-703. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0230-x>.

Héder, M. 2017. From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation. *The Innovation Journal: The Public Sector Innovation Journal*, 22(2): 3-23.

Hemming, V., Burgman, M.A., Hanea, A.M., McBride, M.F. et Wintle, B.C. 2017. A practical guide to structured expert elicitation using the IDEA protocol. *Methods in Ecology and Evolution*, 9 (1): 169-180. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12857>.

Herrero, M., Thornton, P.K., Mason-D’Croze, D., Palmer, J., Benton, T.G., Bodirsky, B.L., Bogard, J.R., Hall, A., Lee, B., Nyborg, K. et Pradhan, P. 2020. Innovation can accelerate the transition towards a sustainable food system. *Nature Food*, 1(5): 266-272.

Herrero, M., Thornton, P.K., D’Croze, D.M., Palmer, J., Bodirsky, B.L., Pradhan, P., Barrett, C.B., Benton, T.G., Hall, A., Pikaar, I., Bogard, I.J., Bonnet, G.D., Bryan, B.A., Campbell, B.M., Christensen, S., Clark, M., Fanzo, J., Godde, C.M. et Rockström, J. 2021. Articulating the effect of food systems innovation on the Sustainable Development Goals. *The Lancet Planetary Health* 5, n° 1: e50-e62.

Groupe d’experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition (HLPE). 2019. *Approches agroécologiques et autres approches novatrices pour une agriculture et des systèmes alimentaires durables propres à améliorer la sécurité alimentaire et la nutrition*. Rome. <https://www.fao.org/3/ca5602fr/ca5602fr.pdf>.

HLPE. 2020. *Sécurité alimentaire et nutrition: énoncé d’une vision globale à l’horizon 2030*. Rome. <https://www.fao.org/3/ca9731fr/ca9731fr.pdf>.

Innovation Technology Cluster. Agrifood Cooperation Platform. Agrifood Digital Innovation Hub. [Référéncé le 4 février 2022] <https://mapping.dih-agrifood.com/>.

IPBES. 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Dir. publ. S. Díaz, J. Settele, E.S. Brondízio E.S., H.T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneeth, P. Balvanera, K.A. Brauman, S.H.M. Butchart, K.M.A. Chan, L.A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G.F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razaque, B. Reyers, R.R. Chowdhury, Y.J. Shin, I.J. Visseren-Hamakers, K.J. Willis et C.N. Zayas. IPBES Secretariat, Bonn (Allemagne). 56 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>.

Jelodar, H., Wang, Y., Rabbani, M. et Ayobi, S. 2019. Natural Language Processing via LDA Topic Model in Recommendation Systems. arXiv preprint arXiv:1909.09551.

Jones, J.W., Antle, J.M., Basso, B., Boote, K.J., Conant, R.T., Foster, I., Godfray, H.C.J., Herrero, M., Howitt, R.E., Janssen, S. et Keating, B.A. 2017. Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science. *Agricultural Systems*, 155: 269-288.

Kanter, D.R., Musumba, M., Wood, S.L.R., Palm, C., Antle, J., Balvanera, P., Dale, V.H. et al. 2018. Evaluating agricultural trade-offs in the age of sustainable development. *Agricultural Systems*, 163: 73-88.

Katz, M.L. et Shapiro, C. 1986. Technology adoption in the presence of network externalities. *Journal of Political Economy*, 94(4): 822-841.

Keating, B.A., Herrero, M., Carberry, P.S., Gardner, J. et Cole, M.B. 2014. Food wedges: framing the global food demand and supply challenge towards 2050. *Global Food Security*, 3(3-4): 125-132.

King, A.A. et Baatartogtokh, B. 2015. How useful is the theory of disruptive innovation? *MIT Sloan Management Review*, 57(1): 77-90. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

Knol, A.B., Slottje, P., van der Sluijs, J.P. et Lebret, E. 2010. The use of expert elicitation in environmental health impact assessment: A seven step procedure. *Environmental Health*, 9(1): 19. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-9-19>.

Laborde, D., Porciello, J., Smaller, C., Murphy, S. et Parent, M. 2020. Ceres2030: Sustainable Solutions to End Hunger Summary Report.

Lentz, E.C. 2021. Food and agriculture systems foresight study: implications for gender, poverty, and nutrition. *Q Open* 1(1): qoaa003.

Lerner, J. 1995. Patenting in the shadow of competitors. *Journal of Law and Economics*, 38(2): 463-495.

Liu, Z., Jiang, F., Hu, Y., Shi, C. et Fung, P. 2021. NER-BERT: A Pre-trained Model for Low-Resource Entity Tagging. ArXiv:2112.00405 [Cs]. <http://arxiv.org/abs/2112.00405>.

Liverpool-Tasie, L.S.O., Wineman, A., Young, S., Tambo, J., Vargas, C., Reardon, T., Adjognon, G.S., Porciello, J., Gathoni, N., Bizikova, L., Galiè, A. et Celestin, A. 2020. A scoping review of market links between value chain actors and small-scale producers in developing regions. *Nature Sustainability*, 3(10): 799-808. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00621-2>.

Ludemann, C.I., Gruere, A., Heffer, P. et Dobermann, A. 2022. Global data on fertilizer use by crop and by country. *Sci Data*, 9: 501. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01592-z>.

RÉFÉRENCES

- Maïga, W.H.E., Porgo, M., Zohonogo, P., Amegnaglo, C.J., Coulibaly, D.A., Flynn, J., Seogo, W., Traoré, S., Kelly, J.A. et Chimwaza, G.** 2020. A systematic review of employment outcomes from youth skills training programmes in agriculture in low- and middle-income countries. *Nature Food*, 1(10), 605-619. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00172-x>.
- Markides, C.** 2006. Disruptive innovation: In need of better theory. *Journal of Product Innovation Management*, 23(1): 19-25. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2005.00177.x>.
- Marsland, S.** 2015. *Machine Learning: An Algorithmic Perspective*, Second Edition. Chapman & Hall/CRC.
- Mason-D'Croz, D., Sulser, T.B., Wiebe, K., Rosegrant, M.W., Lowder, S.K., Nin-Pratt, A., Willenbockel, D., Robinson, S., Zhu, T., Cenacchi, N. et Dunston, S.** 2019. Agricultural investments and hunger in Africa modeling potential contributions to SDG2—Zero Hunger. *World Development*, 116: 38-53.
- McBride, M.F., Garnett, S.T., Szabo, J.K., Burbidge, A.H., Butchart, S.H., Christidis, L., Dutton, G. et al.** 2012. Structured elicitation of expert judgments for threatened species assessment: A case study on a continental scale using Email. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(5): 906-920. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00221.x>.
- Messerli, P., Murniningtyas, E., Eloundou-Enyegue, P., Foli, E.G., Furman, E., Glassman, A., Licona, G.H. et al.** 2019. Global sustainable development report 2019: the future is now—science for achieving sustainable development. New York, Nations Unies.
- MIT.** 2021. Implementing Sustainable Food Systems. SOLVE. <https://solve.mit.edu/challenges/sustainable-food-systems/solutions#challenge-subnav-offset>.
- Morgan, M.** 2014. Use (and abuse) of expert elicitation in support of decision making for public policy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111: 7176-7184.
- Moser, P.** 2021. ed. *Economics of Research and Innovation in Agriculture*. University of Chicago Press.
- Murdoch, W.J., Singh, C., Kumbier, K., Abbasi-Asl, R. et Yu, B.** 2019. Interpretable machine learning: definitions, methods, and applications. arXiv preprint arXiv:1901.04592.
- NASA.** 1991. Integrated Technology Plan for the Civil Space Program. https://www.lpi.usra.edu/lunar/strategies/NASALunarArchitecture/exp_tech_plan.pdf.
- Nery, C.** 2020. Crowdfunding platforms raised \$18.6 million for startups in Brazil last year. *Latin America Business Stories*. <https://labsnews.com/en/articles/technology/crowdfunding-platforms-startups-brazil/>.
- North, D.C.** 1991. Institutions. *Journal of Economic Perspectives*, 5(1): 97-112.
- North, D.C.** 2008. Institutions and the performance of economies over time. Dans: *Handbook of New Institutional Economics*, p. 21–30. Berlin, Springer.
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE).** Science, technologie et innovation: Perspectives de l'OCDE 2021 (version abrégée). <https://www.oecd.org/fr/sti/science-technologie-et-innovation-perspectives-de-l-ocde-25186175.htm>.
- Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (OMPI).** Non daté. Indice mondial de l'innovation. https://www.wipo.int/global_innovation_index/fr/index.html.
- O'Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K. et al.** 2014. A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122: 387-400. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>.
- Organisation des Nations Unies.** United Nations Democracy Fund. [Référéncé le 12 février 2022] <http://projects.undemocracyfund.org/>.
- Ortiz-Bobea, A., Ault, T.R., Carrillo, C.M., Chambers, R.G. et Lobell, D.B.** 2021. Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. *Nature Climate Change*, 11(4): 306-312.
- Paap, J. et Katz, R.** 2004. Anticipating Disruptive Innovation. *Research-Technology Management*, 47(5): 13-22. <https://doi.org/10.1080/08956308.2004.11671647>.
- Page, S.** 2008. *The Difference: The Difference. How the Power of Diversity Creates Better Groups, Firms*. Princeton University Press.
- Parasuraman, A.** 2000. Technology Readiness Index (Tri): A multiple-item scale to measure readiness to embrace new technologies. *Journal of Service Research*, 2(4): 307-320. <https://doi.org/10.1177/109467050024001>.
- Pardey, P.G., Chan-Kang, C., Beddow, J.M. et Dehmer, S.M.** 2016a. InSTePP International Innovation Accounts: Research and Development Spending, version 3.5. St. Paul.
- Pardey, P.G., Chan-Kang, C., Dehmer, S.P. et Beddow, S.M.** 2016b. Agricultural R&D is on the move. *Nature*, 537(7620): 301-303.
- Pardey, P.G., Alston, J.M., Chan-Kang, C., Hurley, T.M., Andrade, R.S., Dehmer, S.P., Lee, K. et Rao, X.** 2018. The shifting structure of agricultural R&D: Worldwide investment patterns and payoffs. Dans: N. Kalaitzandonakes, E.G. Carayannis, E. Grigoroudis et S. Rozakis. *From Agriscience to Agribusiness*, Springer.
- Piñeiro, V., Arias, J., Dürr, J., Elverdin, P., Ibáñez, A. M., Kinengyere, A., Opazo, C.M., Owoo, N., Page, J.R., Prager, S.D. et Torero, M.** 2020. A scoping review on incentives for adoption of sustainable agricultural practices and their outcomes. *Nature Sustainability*, 3(10): 809-820. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00617-y>.

Platteau, J.-P. 1994a. Behind the market stage where real societies exist-part I: The role of public and private order institutions. *Journal of Development Studies*, 30(3): 533-577.

Platteau, J.-P. 1994b. Behind the market stage where real societies exist-part II: The role of moral norms. *Journal of Development Studies* 30(4): 753-817.

Porciello, J., Ivanina, M., Islam, M., Einarson, S. et Hirsh, H. 2020. Accelerating evidence-informed decision-making for the Sustainable Development Goals using machine learning. *Nature Machine Intelligence*, 2(10): 559-565. <https://doi.org/10.1038/s42256-020-00235-5>.

Porciello, J. et Ivanina, M. 2021a. The Role of Machine Learning in Programmatic Assessment: A Case Study from USAID's Center for Water Security, Sanitation, and Hygiene. USAID Research Technical Assistance Center (RTAC).

Porciello, J., Ivanina, M., Bourne, T. et Lipper, L. 2021b. Mining the Gaps: Using Machine Learning to Map a Million Data Points from Agricultural Research from the Global South. <https://ecommons.cornell.edu/handle/1813/110705>.

Ricciardi, V., Wane, A., Sidhu, B.S., Godde, C., Solomon, D., McCullough, E., Diekmann, F., Porciello, J., Jain, M., Randall, N. et Mehrabi, Z. 2020. A scoping review of research funding for small-scale farmers in water scarce regions. *Nature Sustainability*, 3(10): 836-844. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00623-0>.

Roblin, S. 2017. How an Airline Tragedy Brought GPS to the Masses. *Vice*, 17 avril 2017. <https://www.vice.com/en/article/pg97km/how-an-airline-tragedy-brought-gps-to-the-masses-ronald-reagan>.

Röder, M., Both, A. et Hinneburg, A. 2015. Exploring the space of topic coherence measures. *Proceedings of the eighth ACM international conference on web search and data mining*, ACM.

Rogers, E.M. 1962. *Diffusion of innovations*. New York (États-Unis), Simon and Schuster.

Rosegrant, M.W. et al. 2017. Quantitative foresight modeling to inform the CGIAR research portfolio. <http://ebrary.ifpri.org/cdm/singleitem/collection/p15738coll2/id/131144>.

Sain, G. et al. 2017. Costs and benefits of climate-smart agriculture: The case of the Dry Corridor in Guatemala. *Agricultural Systems*, 151: 163-173.

Sampson, R.C. 2007. R&D alliances and firm performance: the Impact of technological diversity and alliance organization on innovation. *Academy of Management Journal*, 50(2): 364-386. <https://doi.org/10.2307/20159859>.

Selinske, M., Fidler, F., Gordon, A., Garrard, G.E., Kusmanoff, A.M. et Bekessy, S.A. 2020. We have a steak in it: Eliciting interventions to reduce beef consumption and its impact on biodiversity. *Conservation Letters*, 13(5): e12721. <https://doi.org/10.1111/conl.12721>.

Shapiro, C. 2001. Navigating the patent thicket: cross licenses, patent pools, and standard setting Dans: A. Jaffe, J. Lerner et S. Stern (dir. publ.), *Innovation Policy and the Economy*, vol. 1. Cambridge, MA (États-Unis), MIT Press.

Sheahan, M. et Barrett C.B. 2017. Ten striking facts about agricultural input use in sub-Saharan Africa. *Food Policy*, 67: 12-25.

Silva, W. de V.R. et Silva-Mann, R. 2021. Precision Agriculture under a bibliometric view. *International Journal for Innovation Education and Research*, 9(11): 422-442. <https://doi.org/10.31686/ijer.vol9.iss11.3533>.

Soll, J.B. et Klayman, J. 2004. Overconfidence in Interval Estimates. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30(2): 299-314. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.30.2.299>.

Sott, M.K., Nascimento, L. da S., Foguesatto, C.R., Furstenau, L.B., Faccin, K., Zawislak, P.A., Mellado, B., Kong, J.D. et Bragazzi, N.L. 2021. A bibliometric network analysis of recent publications on digital agriculture to depict strategic themes and evolution structure. *Sensors, Bâle (Suisse)*, 21(23): 7889. <https://doi.org/10.3390/s21237889>.

Spiegel, O., Abbassi, P., Zylka, M.P., Schlagwein, D., Fischbach, K. et Schoder, D. 2016. Business model development, founders' social capital and the success of early stage internet start-ups: A mixed-method study. *Information Systems Journal*, 26(5): 421-449. <https://doi.org/10.1111/isj.12073>.

Speirs-Bridge, A., Fidler, F., McBride, M., Flander, L., Cumming, G. et Burgman, M. 2010. Reducing overconfidence in the interval judgments of experts. *Risk Analysis*, 30(3): 512-523. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2009.01337.x>.

Stathers, T., Holcroft, D., Kitinoja, L., Mvumi, B.M., English, A., Omotilewa, O., Kocher, M., Ault, J. et Torero, M. 2020. A scoping review of interventions for crop postharvest loss reduction in sub-Saharan Africa and South Asia. *Nature Sustainability*, 3(10): 821-835. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00622-1>.

Stoop, W.A., Uphoff, N. et Kassam, A. 2002. A review of agricultural research issues raised by the system of rice intensification (SRI) from Madagascar: opportunities for improving farming systems for resource-poor farmers. *Agricultural Systems*, 71(3): 249-274.

Thornton, P.K., Whitbread, A., Baedeker, T., Cairns, J., Claessens, L., Baethgen, W., Bunn, C., Friedmann, M., Giller, K.E., Herrero, M. et Howden, M. 2018. A framework for priority-setting in climate smart agriculture research. *Agricultural Systems*, 167: 161-175.

Trutnevte, E. et al. 2016. Reinvigorating the scenario technique to expand uncertainty consideration. *Climatic Change*, 135(3-4): 373-379. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1585-x>.

RÉFÉRENCES

- Tui, S. H.-K., Adekunle, S.A.A., Lundy, M., Tucker, J., Birachi, E.A., Schut, M., Klerkx, L. et al. 2013. What are innovation platforms? *Innovation Platforms Practice Brief*. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08a2840f0b652dd0005bc/Brief1.pdf>.
- Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO). Non daté. Collection des Rapports de l'UNESCO sur la science. <https://www.unesco.org/reports/science/2021/fr/report-series>.
- Rapport de l'UNESCO sur la science. 2012. The race against time for smarter development. New York (États-Unis).
- Upton, J., Constenla-Villoslada, S. et Barrett, C.B. *Caveat utilitor: A comparative assessment of resilience measurement approaches. Journal of Development Economics*. (à paraître).
- Usher, A.P. 1929. *A History of Mechanical Inventions*. New York (États-Unis), McGraw-Hill.
- Valdivia, R.O., Antle, J.M. et Stoorvogel, J.J. 2017. Designing and evaluating sustainable development pathways for semi-subsistence crop–livestock systems: lessons from Kenya. *Agricultural Economics*, 48(S1): 11-26.
- Valin, H., Sands, R.D., Van der Mensbrugge, D., Nelson, G.C., Ahammad, H., Blanc, E., Bodirsky, B., Fujimori, S., Hasegawa, T., Havlik, P. et Heyhoe, E. 2014. The future of food demand: understanding differences in global economic models. *Agricultural Economics*, 45(1): 51-67.
- van Meijl, H. et al. 2018. Comparing impacts of climate change and mitigation on global agriculture by 2050. *Environmental Research Letters*, 13(6): 064021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabdc4>.
- Van Zanten, H.H.E, Van Ittersum, M.K. et De Boer, I.J.M. 2019. The role of farm animals in a circular food system. *Global Food Security*, 21: 18-22.
- Vervoort, J.M. et al. 2014. Challenges to scenario-guided adaptive action on food security under climate change. *Global Environmental Change*, 28: 383-394. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.03.001>.
- von Braun, J., Afsana, K., Fresco, L.O. et Hassan, M. 2021. Science and Innovations for Food Systems Transformation and Summit Actions. Rome: Scientific Group for the UN Food System Summit.
- Weitzman, M.L. 1998. Recombinant growth. *Quarterly Journal of Economics*, 113(2): 331-360.
- Wiebe, K., Zurek, M., Lord, S., Brzezina, N., Gabrielyan, G., Libertini, J., Loch, A., Thapa-Parajuli, R., Vervoort, J. et Westhoek, H. 2018. Scenario development and foresight analysis: exploring options to inform choices. *Annual Review of Environment and Resources*, 43: 545-570.
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S.J., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L.J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J.A., de Vries, W., Majele Sibanda, L. et Murray, C.J.L. 2019. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 6736(18): 3-49. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4).
- Yi, J., Meemken, E.-M., Mazariegos-Anastassiou, V., Liu, J., Kim, E., Gómez, M.I., Canning, P. et Barrett, C.B. 2021. Post-farmgate food value chains make up most of consumer food expenditures globally. *Nature Food*, 2(6): 417-425.
- Yu, D. et Hang, C.C. 2010. A reflective review of disruptive innovation theory. *International Journal of Management Reviews*, 12(4): 435-452. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2009.00272.x>.
- Zurek, M., Hebinck, A. et Selomane, O. 2021. Looking across diverse food system futures: Implications for climate change and the environment. *Q Open*, 1(1): qoaa001.
- Zurek, M.B. et Henrichs, T. 2007. Linking scenarios across geographical scales in international environmental assessments. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(8): 1282-1295. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.11.005>.

2022
PERSPECTIVES SUR LES
TECHNOLOGIES ET
L'INNOVATION DANS LE
DOMAINE DES SYSTÈMES
AGROALIMENTAIRES
PRÉSENTATION

ISBN 978-92-5-137786-4



9 789251 377864

CC2506FR/1/04.23