

## Vie de la recherche – Research news

# À propos du document de l'Agence nationale de la recherche *Les apports de la génomique à l'agroécologie*

Étienne Hainzelin\* 

Agronomie, Direction générale, CIRAD, Ottawa, Canada

**Résumé** – Comment les outils de la génomique peuvent-ils concrètement contribuer à la transition agroécologique de la production agricole ? Cette question est traitée au travers de l'analyse d'un corpus des 1 200 projets de recherche dans les différents domaines de la génomique, financés par l'Agence nationale de la recherche (ANR) entre 2005 et 2019. L'analyse débouche sur une proposition de quatre pistes prioritaires pour les recherches futures en génomique pour l'agroécologie.

**Mots-clés** : génomique / agroécologie / intégration des données / diversité fonctionnelle

**Abstract** – **About the document of the French National Research Agency for Research *The contribution of genomics to agroecology***. How can the genomic tools concretely contribute to the agroecological transition of agriculture ? This issue is addressed through the analysis of a corpus of the 1,200 research projects funded by the French National Research Agency (ANR) in this field between 2005 and 2019. The analysis results in the proposal of four priority axes for future research in genomics for agroecology.

**Keywords**: genomics / biotechnology / agroecology / data integration / functional diversity

## Les apports de la génomique à l'agroécologie

Si on est un tant soit peu optimiste, la question de l'exigence et de l'urgence d'une transformation agroécologique de l'agriculture n'est presque plus sur la table ; la question est plutôt sur le comment. Dans son acception la plus large, l'agroécologie embrasse l'ensemble des activités dévolues aux « systèmes alimentaires », depuis la production jusqu'à la consommation, et englobe donc les activités de production, transformation, distribution et consommation des produits agricoles et alimentaires. Elle est le plus couramment définie aujourd'hui comme la mise en œuvre d'une série de principes pour transformer les techniques de ces différentes activités, mais également l'organisation des marchés, l'équité de la répartition de la valeur ajoutée, etc. La proposition la plus récente est celle des 13 principes de l'agroécologie énoncés par le Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité

alimentaire et la nutrition (HLPE) du Comité de la sécurité alimentaire mondiale (CSA) à la FAO<sup>1</sup>.

L'agroécologie traduit en particulier un changement de paradigme dans la façon d'appréhender l'acte de produire, en remettant en cause la mesure de sa performance : elle exige de ne pas se limiter au rendement, à la performance économique mais d'intégrer les performances sociales et environnementales, y compris ce qu'il est convenu d'appeler les externalités. Pour faire évoluer les systèmes de production afin de faire face aux multiples défis – calorique, nutritionnel, environnemental, climatique... –, deux visions s'opposent radicalement : l'intensification conventionnelle, type « agriculture industrielle » ou « Révolution verte », qui spécialise, ségrège et artificialise pour tirer le

\*Auteur correspondant : [etienne.hainzelin@cirad.fr](mailto:etienne.hainzelin@cirad.fr)

<sup>1</sup>HLPE, 2019. *Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition*. Rapport, Rome, High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, <https://www.fao.org/3/ca5602en/ca5602en.pdf>.

maximum d'un couvert végétal génétiquement homogène et synchrone, en supprimant tous les facteurs limitants y compris la biodiversité ne faisant pas partie de ce couvert (mauvaises herbes, parasites, auxiliaires) ; et celle de l'agroécologie qui exige de mobiliser la diversité du vivant présent dans l'espace cultivé et péricultivé, au-dessus et en dessous du sol et d'appréhender des couverts complexes. Ces deux visions ont des implications radicalement divergentes en matière de matériel végétal et des travaux en génétique : dans la vision conventionnelle, on recherche l'homogénéité, la performance productive d'un couvert végétal monospécifique, souvent monogénétique, constitué de matériel élite ; dans la vision agroécologique, le maître mot est de diversifier les peuplements au plan générique (par exemple par l'agroforesterie), spécifique (par exemple par des cultures annuelles associées) ou génétiques (par exemple par des variétés composites ou un mix variétal) mais également l'ensemble du vivant de l'espace cultivé ou péricultivé pour mieux contribuer à la production. L'agroécologie suppose donc de décaler le regard, d'une focalisation sur un organisme végétal ou animal pour augmenter ses performances, à une approche systémique, intégrant donc les interactions entre organismes dans un paysage agricole.

Si l'agroécologie est fondée sur le vivant, ce sont bien plus les agronomes, experts de la combinaison du vivant dans l'espace cultivé, à l'échelle de la parcelle ou du paysage, qui se sont mobilisés sous l'étendard de l'agroécologie. Les biologistes – spécialistes des végétaux, animaux et microorganismes – ont continué de plonger ces dernières décennies toujours plus profondément au cœur de l'intime du vivant, de sa physiologie, de sa génétique et de sa machinerie métabolique, au travers d'un nombre très limité d'espèces, sans parvenir à toujours relier leurs travaux avec cette exigence systémique. De leur côté, les écologues scientifiques se sont plus investis dans les espaces naturels. L'agriculture, en particulier sa version particulièrement simplifiée qu'est l'agriculture industrielle, a donc finalement été sous-investie en termes de recherches biologiques et écologiques si on se place dans la perspective agroécologique.

Le développement de nouvelles technologies et les travaux menés ces vingt dernières années dans le domaine de la génomique, ont pourtant généré des avancées cognitives et méthodologiques remarquables sur les fonctionnalités du vivant. La génomique, domaine des sciences biologiques qui repose sur l'étude du génome et de son expression, analyse et intègre les composantes d'information biologique issues des différents niveaux d'organisation et de fonctionnement d'un organisme ou d'une communauté d'organismes : (épi-)génomique, transcriptome, protéome, fluxome, métabolome, ionome et phénome. Selon l'Agence nationale

de la recherche (ANR), « ces avancées pourraient contribuer aux recherches en agroécologie qui visent à mieux caractériser, comprendre et valoriser la biodiversité fonctionnelle pour optimiser les régulations biologiques au sein des agroécosystèmes, afin d'améliorer les fonctionnalités de ces agroécosystèmes et concevoir des pratiques durables<sup>2</sup> ». C'est donc une remarquable initiative que l'ANR a prise en publiant en 2020 un cahier intitulé *Les apports de la génomique à l'agroécologie. Bilan des projets financés sur la période 2005-2019 et perspectives pour la recherche*<sup>3</sup>.

## Un inventaire des projets de recherche

Le rapport est structuré en 3 parties. La première est un travail d'inventaire à deux étages qui a tenté d'identifier, sur les 1 200 projets de recherche en génomique des divers appels à propositions de la période 2005-2019, ceux qui représentaient un apport important en agroécologie ; parmi les 130 projets potentiellement intéressants pour le sujet, 33 projets ont été retenus pour une tentative de typologie selon les institutions impliquées, les disciplines mobilisées et la répartition géographique des équipes. Cette première analyse permet de constater que l'appétence des spécialistes des biotechnologies pour se situer dans une perspective agroécologique existe mais reste assez faible. La seconde tente de mieux caractériser les apports de ces projets de recherche en génomique des animaux, des plantes et des microbes à la réflexion sur l'agroécologie. Cette partie se conclut par des recommandations pour que les recherches en génomique appuient réellement les transitions agroécologiques. La troisième partie est constituée des 33 fiches décrivant synthétiquement chacun des projets, réunis en 3 groupes. Il est assez symptomatique que ces trois groupes soient assez classiques (grossoirement, la régulation des bioagresseurs, l'importance de la diversité biologique dans les agroécosystèmes, et la valorisation des interactions favorables entre plantes et microorganismes) et différents de ceux définis dans la deuxième partie. Les auteurs analysent les apports effectifs de ces 33 projets à l'agroécologie et proposent une

<sup>2</sup> ANR (Agence nationale de la recherche), 2020. Publication du cahier n° 12 de l'ANR : les apports de la génomique à l'agroécologie, ANR, <https://anr.fr/fr/actualites-de-lanr/details/news/publication-du-cahier-n12-de-lanr-les-apports-de-la-genomique-a-lagroecologie/>.

<sup>3</sup> Hippolyte I., Guiderdoni E., Mia J., Hubert B. (Eds), 2020. *Les apports de la génomique à l'agroécologie. Bilan des projets financés sur la période 2005-2019 et perspectives pour la recherche*, Cahiers de l'ANR n° 12, Paris, ANR, [https://anr.fr/fileadmin/documents/2020/ANR\\_Cahiers\\_N12\\_WEB.pdf](https://anr.fr/fileadmin/documents/2020/ANR_Cahiers_N12_WEB.pdf). Voir aussi les présentations des intervenants lors du colloque « Les apports de la génomique à l'agroécologie », organisé par l'ANR le 27 mars 2018 : <http://ptolemee.com/genomique-agro/index.html>.

réflexion plus globale, finalement assez conventionnelle, sur les apports potentiels de la génomique à l'agroécologie, mais c'était probablement la seule façon de dresser un tableau compréhensible de cette question très générale. En effet, les 33 projets, pour fascinants qu'ils soient, ne constituent qu'un nombre très limité de points sur une quasi-infinité de recherches possibles, si on considère les multiples combinaisons des 13 principes de l'agroécologie et l'immense diversité des situations...

### **Quatre pistes prioritaires de recherches futures en génomique pour l'agroécologie**

Ces possibles sont explorés dans la deuxième partie de ce rapport, la plus intéressante. Le fondement de cette exploration est qu'une approche résolument fonctionnelle de la diversité – spécifique et génétique – permettra d'abord de comprendre la dynamique des réseaux de régulations sous l'influence de l'environnement, les impacts sur le phénotype et la diversité des plantes, des animaux et des microorganismes, ainsi que leurs interactions. Elle nourrira *in fine* des hypothèses sur la fonctionnalité d'un groupe ou réseau de régulateurs « omiques » entre espèces apparentées et permettra de développer des approches prédictives sur les capacités de différentes lignées ou races d'une même espèce ou de différentes espèces à être utilisées pour les mêmes fonctionnalités.

Les quatre pistes de recherches prioritaires que le rapport propose représentent plus une analyse de ce qu'il serait souhaitable de développer comme recherches en biotechnologies, et elles s'affranchissent ainsi d'une certaine façon des 33 projets. Ces quatre pistes, véritable feuille de route pour le futur, sont autant de défis.

### **Vers une meilleure intégration multiscalaire des données « omiques » pour une exploitation optimale en agroécologie**

La première piste est de mieux intégrer le traitement de la masse de données « omiques » pour une exploitation optimale dans le but de mieux faire fonctionner le couvert végétal dans une optique agroécologique. Les données sur l'intime du vivant sont produites de façon extrêmement massive mais ces données sont hétérogènes en matière de nature, d'échelle, de temporalité, de résolution ou de format ; leur intégration multiscalaire doit permettre de nourrir la biologie prédictive et la recherche « translationnelle », c'est-à-dire permettre de mieux passer des espèces modèles aux espèces cultivées, de mieux comprendre le fonctionnement des individus en interaction dans leur agroécosystème, de même que les différences de fonctionnement entre lignées, races ou espèces.

### **Caractérisation dynamique de la diversité fonctionnelle intra- et interspécifique des organismes présents dans un agroécosystème**

La deuxième piste est de « caractériser de façon dynamique la diversité fonctionnelle intra- et interspécifique des organismes présents dans un agroécosystème ». La biodiversité est le moteur de l'agroécologie et la diversification, tant spécifique que génétique, est au cœur de la transition agroécologique. Les connaissances biologiques ont remarquablement progressé dans l'intime du vivant mais bien moins au niveau des agroécosystèmes que sont les couverts complexes. Il est nécessaire de mieux relier la diversité fonctionnelle des agroécosystèmes dans leur ensemble, celle des couverts végétaux et de leurs organismes, avec leur fonctionnement systémique et les services rendus, et ce dans différentes conditions environnementales et de gestion. Mieux connaître ces liens permettra de mieux définir des objectifs de sélection génétique pour ces systèmes complexes et de construire des trajectoires de diversification pour les systèmes traditionnels. Cette piste met aussi l'accent sur une partie de l'agroécosystème trop souvent négligée, la biodiversité du sol.

### **Optimisation des relations végétaux-microorganismes favorables**

La troisième piste a trait spécifiquement aux relations végétaux-microorganismes favorables. Il s'agit d'appréhender la performance du système non pas uniquement au niveau du couvert végétal mais aussi au niveau de l'« holobionte », c'est-à-dire la communauté associant le couvert végétal et la cohorte d'organismes au-dessus et en dessous du sol, tout particulièrement la cohorte de microorganismes, le microbiote. La biodiversité des agrosystèmes intensifiés a été largement appauvrie en raison de leur couvert monogénétique, de leurs fertilisants de synthèse et de la quasi-élimination des organismes du sol. Les synergies biologiques entre différentes communautés vivantes ont donc été érodées. L'agroécologie vise à réhabiliter ces synergies, en particulier au niveau de la rhizosphère où on sait que le microbiote joue un rôle central dans la nutrition et la santé des couverts végétaux. La troisième piste conduira à identifier des caractères favorables, et donc à affiner les objectifs de sélection des espèces végétales cultivées, dans une optique de couverts complexes pour favoriser les interactions avec les microorganismes. Mais on peut tout aussi bien imaginer une amélioration génétique des auxiliaires – à quand des programmes de sélection génétique des lombrics et des bousiers ? –, tout particulièrement des microorganismes.

## La génomique au service de la transition écologique en élevage

Enfin, la quatrième piste aborde la transition agroécologique en élevage. On a souvent tendance à réduire cette transition aux systèmes de cultures alors que ses principes, en particulier la diversification, s'appliquent tout aussi bien aux productions animales, en étroite interaction par ailleurs avec les productions végétales. Il s'agit de réduire les intrants, de limiter les rejets polluants, de préserver la santé et le bien-être des animaux, de favoriser la diversité des ressources utilisées et de développer des pratiques respectant la diversité des couverts végétaux. La génomique, déjà largement utilisée aujourd'hui (sélection génétique, optimisation du microbiote intestinal, épigénétique...), pourrait investir de nouveaux champs. Tout d'abord, la génomique pourrait fournir des réponses sur l'aptitude des différents profils génétiques à s'adapter aux fluctuations de l'environnement, ce qui permettrait une gestion durable de la diversité des espèces et des profils génétiques intra-espèce au sein d'un même système. Ensuite, face aux risques environnementaux qui sont croissants, la génomique peut donner des clés de compréhension de la plasticité du génome pour augmenter la capacité d'adaptation, la robustesse, des animaux. Enfin, elle pourrait contribuer à améliorer l'efficacité alimentaire des animaux, en lien avec leur microbiote.

## Des verrous cognitifs à lever

Enfin, la seconde partie du rapport se termine par des recommandations formulées à la suite d'une réflexion prospective menée avec les communautés scientifiques de la génomique et de l'agroécologie. Cette prospective identifie les verrous cognitifs qu'il conviendrait de lever pour pouvoir accélérer la contribution de la génomique à la transition agroécologique selon les quatre pistes évoquées précédemment. Le rapport ANR les résume en 4 schémas :

- mettre en évidence et caractériser « la plus-value d'une diversité cultivée dans les agroécosystèmes » pour se fonder sur cette diversité et ainsi améliorer la productivité, la stabilité et la santé des cultures, ainsi que les services attendus en situation d'intrants réduits ;
- aller au-delà de la description et de l'inventaire et viser « l'optimisation de la biodiversité fonctionnelle assurant les services attendus de l'agroécosystème » ;
- mieux comprendre, pour les végétaux comme pour les animaux, l'effet des événements précoces sur l'élaboration du phénotype (notion de DOHAD = *Developmental Origins of Health and Disease*) ;
- caractériser, valoriser et enrichir l'holobionte pour une optimisation durable du fonctionnement des agroécosystèmes (couverts végétaux) face aux risques environnementaux, décrypter les réseaux de gènes à l'œuvre au sein de l'holobionte et leurs interactions, et favoriser le recrutement de populations bénéfiques par l'introduction d'espèces particulières et leurs associations.

La conclusion du cahier est remarquable : « Piloter la recherche par “le projet” et non pas au travers des projets ! ». Au bout de cette analyse qui part des projets et qui se demande à quoi ils peuvent bien servir, la conclusion est qu'il conviendrait plutôt de partir du projet de transformation agroécologique pour mieux comprendre comment la connaissance intime du vivant, dans différents domaines, peut servir ce projet. C'est ainsi une vision commune qui fera converger une large palette de disciplines pour contribuer à la transition agroécologique. Un projet nécessairement intensif en connaissances visant à intégrer les réponses des organismes aux facteurs biotiques et abiotiques aux différentes échelles d'organisation et de régulations et à optimiser ces interactions pour favoriser la durabilité et la résilience des futurs agroécosystèmes.

**Citation de l'article :** Hainzelin É. À propos du document de l'Agence nationale de la recherche *Les apports de la génomique à l'agroécologie*. Nat. Sci. Soc. 30, 1, 89-92.