

Agrobiodiversité et transition agroécologique

Regards croisés de chercheurs et paysans

Aby Cissé

Université Gaston Berger, Isra, Sénégal
IRD, France

Cécile BERTHOULY-SALAZAR

IRD, France

Saidou N. SALL

Université Gaston Berger, Sénégal

Delphine RENARD

CNRS, France

Cathy CLERMONT-DAUPHIN

IRD, France

Alihou NDIAYE

ASPSP, Sénégal

Adeline BARNAUD

IRD, France

Ndjido Ardo KANE

Isra, Sénégal

Introduction

Garantir la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations face aux changements globaux (anthropiques et climatiques) est l'un des plus grands défis des années à venir (LOBELL *et al.*, 2011 ; CHALLINOR *et al.*, 2014). En Afrique subsaharienne, les systèmes agricoles dominés par les cultures pluviales seront particulièrement impactés par les changements climatiques déjà en cours (TURCO *et al.*, 2015 ; FAYE *et al.*, 2018 ; DIENG *et al.*, 2018 ; SULTAN *et al.*, 2019). Les événements extrêmes, comme les vagues de chaleur et les fortes pluies, devraient s'intensifier dans le futur (ROWELL, 2006 ; TAYLOR *et al.*, 2013 ; SYLLA *et al.*, 2015) avec des conséquences majeures sur l'agriculture et les sociétés. Face à ces enjeux, de multiples stratégies d'adaptation ont été proposées pour maintenir la production agricole et sa durabilité. Les stratégies agricoles dites « conventionnelles » visent à développer des innovations technologiques performantes en réponse à un, voire deux facteurs limitants – variété résistante à la sécheresse, à un pathogène, utilisation accrue d'engrais et de systèmes d'irrigation –, partant du principe que

le même facteur limitant se retrouve d'année en année. Cependant, dans un contexte où les contraintes environnementales sont multiples et d'intensité variable dans le temps, le potentiel de telles solutions technologiques semble limité.

Une attention croissante est accordée à l'agroécologie comme voie de développement durable des systèmes agricoles et alimentaires (GLIESSMAN, 1990 ; ALTIERI, 2002 ; FRANCIS *et al.*, 2003 ; GRIFFON, 2009), et ce particulièrement dans les environnements à forte variabilité. Les termes « agroécologie » ou « transition agroécologique » sont entrés dans les discours sur les politiques de développement agricole et suscitent un grand intérêt auprès des agriculteurs et des scientifiques (BERTON *et al.*, 2013). L'agroécologie repose sur la conception de systèmes agricoles où les apports extérieurs à l'agroécosystème sont limités grâce à la valorisation des processus écologiques « internes ». La biodiversité constitue une composante-clé de l'agroécologie (ALTIERI, 2002 ; LE ROUX *et al.*, 2008), soutenant la production de nombreux services écosystémiques (dont la disponibilité en eau, la fertilité, le contrôle des « ennemis des cultures », etc.), de régulation des flux (dont la qualité de l'eau, la régulation des cycles biogéochimiques, etc.) et socioculturels.

L'agrobiodiversité, un levier pour une agriculture durable et résiliente

Une étude sur 50 ans de données sur les rendements annuels de 176 espèces cultivées dans 91 pays a montré qu'une plus grande diversité de cultures au niveau national est associée à une stabilité temporelle accrue de l'approvisionnement alimentaire (RENARD et TILMAN, 2019). Ces liens diversité-stabilité relèvent d'un « effet d'assurance ». Les réponses des différentes cultures aux perturbations climatiques ou biotiques peuvent alors se compenser. À l'échelle de la parcelle, PRIETO *et al.* (2015) ont étudié l'effet de la diversité inter- et intra-spécifique sur la productivité et la stabilité d'un agrosystème de plantes fourragères en station expérimentale. Cette étude souligne l'importance que pourrait jouer la diversité intra-spécifique pour la stabilité des agrosystèmes et ceci d'autant plus en conditions de ressources limitées et d'aléas climatiques. ZHU *et al.* (2000) ont également souligné l'importance de la diversité variétale pour la résistance aux maladies.

Les solutions basées sur l'agrobiodiversité sont de plus en plus étayées par la recherche (SARR, 2012 ; PIRONON *et al.*, 2019 ; RENARD et TILMAN, 2019 ; HERTEL et LOBELL, 2014 ; HOWDEN *et al.*, 2007). Cependant, alors que plusieurs décennies de recherche ont permis d'avancer les connaissances des liens entre biodiversité et fonctionnement des écosystèmes dans les milieux naturels (TILMAN, 1999 ; TILMAN *et al.*, 1997 ; ZHU *et al.*, 2000 ; TILMAN *et al.*, 2006 ; CARDINALE *et al.*, 2013 ; PRIETO *et al.*, 2015), le potentiel de l'agrobiodiversité pour soutenir la résilience des agroécosystèmes reste sous-évalué, particulièrement au Sud. En effet, 276 études sur les bénéfices de l'agrobiodiversité ont été

menées en Afrique du Nord et de l'Ouest contre plus de 1 000 en Amérique du Nord (BELLOUIN *et al.*, 2019). Ces chiffres reflètent l'inadéquation entre la demande pressante des populations au Sud, qui subissent déjà les effets des changements climatiques, et les recherches conduites.

Production de savoirs agroécologiques

L'innovation agronomique centrée sur le rendement et testée en station expérimentale est souvent conceptualisée comme généralisable et transposable quelles que soient les conditions d'exploitation. Ces systèmes de culture ont été définis à partir de connaissances scientifiques génériques avec peu ou pas d'interactions avec les agriculteurs (LE GAL *et al.*, 2011). *A contrario*, la transition agroécologique, comme le rapporte LECLÈRE (2020), doit : (1) adapter localement les solutions génériques issues des sciences agronomiques ; (2) compléter les connaissances scientifiques avec les savoirs locaux issus de l'expérience des agriculteurs ; (3) inspirer et produire de nouvelles connaissances agronomiques. L'innovation agroécologique se doit donc par définition d'être contextualisable et généralisable. ROSSET et ALTIERI (2017) stipulent que l'agroécologie, en plus d'être un ensemble de pratiques spécifiques, favorise un « dialogue des sages », et intègre des éléments de la science moderne, de l'ethnoscience et des contextes socio-économiques, culturels et environnementaux. La mobilisation conjointe des connaissances scientifiques et des connaissances des agriculteurs, perçues comme des connaissances à la fois expertes et contextualisées, constitue une approche-clé dans l'accompagnement de la définition de savoirs agroécologiques. À ce titre, les réseaux d'expérimentations avec les agriculteurs créent un contexte favorable pour hybrider les connaissances (DORÉ *et al.*, 2011 ; LECLÈRE, 2020 ; HAZARD *et al.*, 2017) tout en permettant les apprentissages collectifs et génériques (GIRARD et MAGDA, 2018). À travers le projet Patur'Ajust, GIRARD et MAGDA (2018) ont montré que le développement de telles initiatives amenait, d'une part, à renforcer la capacité d'action des agriculteurs et, d'autre part, à bénéficier de leur apprentissage en vue de les transformer en ressources utiles pour d'autres agriculteurs. De telles approches favorisent le partage d'expériences au sein du réseau (visites de terrain) et le partage des connaissances qui en découlent (rédaction de fiches techniques). Dès lors, ALTIERI et TOLEDO (2011) soulignent l'importance d'une implication directe des agriculteurs dans les processus d'innovations technologiques.

Capitalisation de savoirs paysans : le projet DivAgro au Sénégal

L'agriculture en Afrique de l'Ouest repose essentiellement sur une agriculture familiale. Au Sénégal, elle représente environ 95 % des exploitations. Ces exploitations familiales s'appuient sur une diversité d'espèces et de variétés,

essentiellement paysannes (EVENSON et GOLLIN, 2003). En effet, les sociétés pratiquant l'agriculture dans des zones à forte variabilité de précipitations ou sujettes à des événements extrêmes, comme c'est le cas dans la zone soudano-sahélienne, gèrent souvent une diversité d'espèces et de variétés pour bénéficier de l'effet d'assurance de cette diversité et sécuriser leurs moyens de subsistance (ALTIERI et MERRICK, 1987 ; COOMES *et al.*, 2015).

Dans ce contexte, le projet DivAgro (encadré 1) avait pour but de capitaliser les expériences singulières des agriculteurs du Sénégal vis-à-vis d'une pratique agroécologique caractéristique des agrosystèmes familiaux en Afrique de l'Ouest : le mélange variétal au sein des parcelles sous agriculture pluviale et sans apport d'engrais, et ce dans un contexte d'aléas climatiques.

Le mil est une culture emblématique au Sénégal et représente 66 % de la production céréalière nationale. L'association de variétés de mil est une des associations plébiscitées par les agriculteurs sénégalais. En effet, les paysans cultivent souvent du mil en associant deux variétés : l'une précoce appelée « souna » et l'autre tardive appelée « sanio » ou « mathye » (MULLER *et al.*, 2015).

Les objectifs précis du projet DivAgro étaient donc (1) de tester le rôle de la diversité intra-spécifique du mil sur la productivité et la résistance aux pathogènes et (2) d'évaluer expérimentalement cette pratique par une approche participative.

Encadré I Les partenaires du projet DivAgro

Le projet DivAgro a été mené en collaboration avec plusieurs organismes de recherche :

- en France, avec l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) ;
- au Sénégal, avec l'université Gaston Berger (UGB), l'Institut sénégalais de recherche agricole (Isra), et l'Association sénégalaise de producteurs de semences paysannes (ASPSP).

L'UGB, l'IRD et l'Isra sont des instituts de recherche très impliqués dans le travail sur les changements globaux, la diversité et l'adaptation des systèmes agricoles. L'Isra appuie l'État sénégalais dans l'élaboration de son programme national d'adaptation aux changements climatiques. L'ASPSP s'intéresse à la biodiversité agricole gérée par les agriculteurs avec leurs connaissances et leurs savoir-faire pour favoriser l'autonomie semencière.

Méthode et résultats

Des expérimentations ont été conduites au Sénégal pendant les saisons des pluies de 2018 et 2019 dans deux villages faisant partie du réseau paysan de l'Association sénégalaise de producteurs de semences paysannes (ASPSP) : Lissar et Mbane (fig. 1).

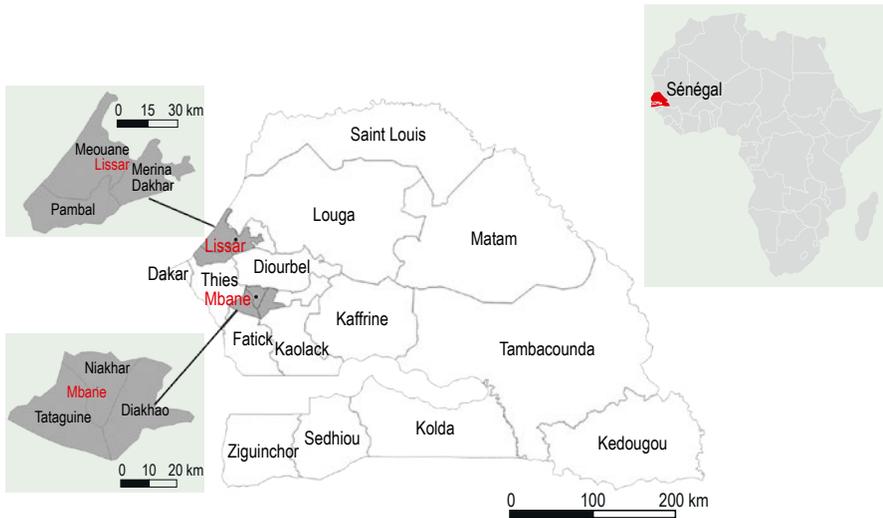


Figure 1
Sites d'étude du projet DivAgro au Sénégal.

Le village de Lissar est un village très actif en termes d'innovation agroécologique. Les paysans ont suivi de nombreuses formations et ont, de ce fait, un historique de participation à des projets de recherche. Le village de Mbane, quant à lui, a bénéficié de moins d'interactions paysans-chercheurs. D'un point de vue climatique, Lissar se trouve en zone aride, avec une pluviométrie faible (en moyenne 350 mm par an), et Mbane présente une pluviométrie plus importante (516 mm de pluie par an).

Au sein de chacun de ces deux villages sénégalais, quinze parcelles paysannes de 300 m² ont été sélectionnées. Sur chaque parcelle, des placettes semées avec un mélange de quatre variétés de mil, combinant des cycles courts et longs, et des placettes semées avec une seule de ces variétés ont été comparées. L'étude a été menée sur deux ans, et des mesures de rendement ont été collectées afin de quantifier et comparer les coûts et bénéfices des mélanges variétaux liés à des effets de complémentarité et/ou des effets d'assurance (fig. 2).

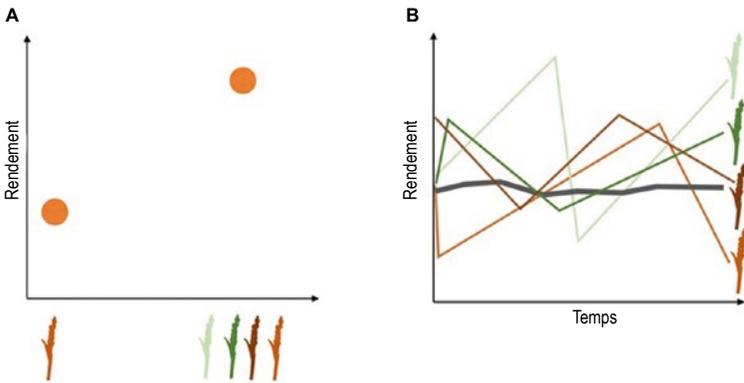


Figure 2

Effets de mélanges variétaux de mil sur le rendement et la stabilité.

A. Complémentarité.

B. Effet d'assurance.

En gris est indiqué le rendement moyen de la parcelle. Les pertes de rendements de certaines variétés sont compensées par les meilleurs rendements obtenus pour les autres variétés.

Construire une compréhension commune de l'agrobiodiversité

Les paysans ont participé à toutes les étapes du projet, des essais expérimentaux aux discussions des résultats (fig. 3).

À la fin des expérimentations, des journées de discussion impliquant une diversité d'acteurs (acteurs de développement, producteurs, chercheurs) ont permis d'échanger sur des pratiques de culture en mélanges variétaux mais aussi d'évaluer l'expérience collaborative du projet. Les échanges ont débuté avec une séance où chaque participant a dessiné ses propres parcelles (composition variétale et spécifique), éléments qui ont ensuite été discutés collectivement. L'objectif était d'aller au-delà des expériences singulières des agriculteurs vers des connaissances généralisables et transposables.

Cette approche est sensiblement analogue à celles de DORÉ *et al.* (2011) qui ont déployé des méthodes cherchant à mobiliser les connaissances expertes et contextualisées des agriculteurs. À travers leurs expériences singulières, les agriculteurs nous ont décrit les services écosystémiques que les associations d'espèces ou de variétés apportent à la fertilité des sols :

« Je cultive deux champs et dans les deux on retrouve des arbres tels que le Soump (*Faidherbia albida*), le jujubier (*Ziziphus jujuba*), le nger (*Guiera senegalensis*). Je m'appuie sur l'apport fertilisant de ces arbres dans les champs que je cultive » ;



Figure 3

Journées de présentations et d'échanges auprès de producteurs et d'acteurs de développement dans les villages de Lissar et Mbane.

Démarrage du projet (A), semis des essais avec les producteurs (B), restitutions de résultats (C et D).

© Aby Cissé (photos A et B).

© Gustave Fall (photos C et D).

« Il y a un intérêt à mettre en association différentes cultures, notamment en y intégrant des légumineuses. En effet, cela permettra de bénéficier de la complémentarité, de l'apport de nutriments d'une espèce à l'autre et par conséquent on pourrait limiter l'utilisation excessive d'engrais. »

Ou pour la protection des cultures :

« En termes d'attaques d'oiseaux, l'association du mil et du sorgho que je fais, limite les dégâts comparé à si j'avais semé une parcelle de mil uniquement. »

« Le sorgho repousse le striga, par conséquent, le mélange mil-sorgho est très bénéfique contre l'attaque de striga. »

Les travaux menés au sein du projet DivAgro ont été appréciés par les agriculteurs qui ont encouragé cette approche participative. Un agriculteur souligne l'importance de mener des projets de recherche en milieu paysan :

« La plupart du temps, le chercheur travaille isolément dans des centres expérimentaux, publie des résultats, alors que le producteur n'a aucune visibilité sur ces travaux menés, n'a aucune idée de comment ce chercheur déroule ces activités. Avec le projet DivAgro, le chercheur est descendu sur le terrain, a

collaboré avec le producteur et ensemble, ils ont mis en pratique une nouvelle technologie. Dès lors, pour tout résultat qui en découle, le producteur est impliqué sur toute la chaîne de valorisation, s'y retrouve, et suscite sa motivation ».

Un autre agriculteur souligne que : « les politiques agricoles ne les [les agriculteurs] outillent pas pour aller vers les centres expérimentaux et assister aux travaux de recherche. ».

Rechercher ensemble permet ainsi aux agriculteurs « de bénéficier d'une nouvelle expertise ». Les chercheurs et agriculteurs apparaissent ainsi complémentaires, « Les différents acteurs devraient évoluer de pair. Ni le chercheur, ni le producteur ne pouvant aller l'un sans l'autre. Ils doivent collaborer et la recherche devrait collaborer avec le monde paysan afin d'améliorer les choses. C'est uniquement à travers cette collaboration que des bénéfices pourront être tirés » (un agriculteur) ; « Il faut que vous changiez d'approche. Les chercheurs et les universitaires devraient se rapprocher des producteurs ».

Conclusion

Ce projet s'est nourri des regards croisés d'agriculteurs et de chercheurs. Plusieurs axes ont été discutés pour les futurs programmes de recherche tels que : (1) favoriser la transdisciplinarité ; (2) réaffirmer le rôle central des agriculteurs dans les dispositifs de recherche expérimentale ; (3) mettre en place des options permettant le développement d'une politique de recherche collaborative efficace ; (4) initier une dynamique territoriale multi-acteurs sur la biodiversité ; (5) formaliser et utiliser les connaissances des agriculteurs comme ressources pour outiller la recherche et les acteurs de développement.

La co-construction de connaissances et d'expériences pour accompagner la transition agroécologique constitue une voie incontournable. Une meilleure prise en compte des perspectives, savoirs et pratiques des agriculteurs passe par l'implication de ces acteurs dans les projets de recherche. Avec le projet DivAgro, nous avons développé une voie de dialogue croisée et participative visant à identifier les coûts et bénéfices d'une pratique paysanne. Ce dispositif d'innovation ouverte, avec une mise en œuvre en milieu paysan, permet d'accompagner les activités de re-conception des pratiques agricoles. Nos travaux soulignent la nécessité d'intégrer une communauté de recherche (chercheurs et agriculteurs) pour le développement d'une agriculture durable qui réponde aux enjeux socio-environnementaux et climatiques à venir.

Remerciements

Cet article est le fruit d'un travail collaboratif effectué dans le cadre du programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D, financement n°5408A1P3-55) et qui a rassemblé chercheurs et agriculteurs des institutions de l'Isra, de l'IRD, du Cefe-CNRS de l'UGB et de l'ASPSP durant deux années, 2018 et 2019. Nous remercions les agriculteurs des villages de Lissar et Mbane qui ont été au cœur de cette étude. Aby Cissé a reçu une bourse doctorale de l'Office allemand d'échanges universitaires (DAAD). L'ambassade de France au Sénégal, au travers de son Service de coopération et d'action culturelle (Scac), et l'IRD, au travers de la bourse ARTS (Allocations de recherche pour une thèse au Sud), ont financé les séjours de recherche en France.

Références bibliographiques

- ALTIERI M. A., 2002**
Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, ecosystems and environments*, 93 (1-3) : 1-24.
[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3)
- ALTIERI M. A., MERRICK L. C., 1987**
In situ conservation of crop genetic-resources through maintenance of traditional farming systems. *Economic Botany*, 41 (1) : 86-96.
<https://doi.org/10.1007/BF02859354>
- ALTIERI M. A., TOLEDO V. M., 2011**
The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasants Studies*, 38 (3) : 587-612. <https://doi.org/10.1080/03066150.2011.582947>
- BARRY M. B., DIAGNE A., PHAM J.-L., AHMADI N., 2008**
Évolution récente de la diversité génétique des riz cultivés (*Oryza sativa* et *O. glaberrima*) en Guinée. *Cahiers Agricultures*, 17 (2) : 122-127. <https://doi.org/10.1684/agr.2008.0167>
- BEDOUSSAC L., JUSTES E., 2011**
A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: application to durum wheat-winter pea intercrops. *Field Crops Research*, 124 : 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.05.025>
- BEILLOUIN D., BEN-ARI T., MAKOWSKI D., 2019**
Evidence map of crop diversification strategies at the global scale. *Environmental Research Letters*, 14 (12) : 123001.
- BERTON S., BILLAZ R., BURGER P., LEBRETON A., 2013**
Agroécologie, une transition vers des modes de vie et de développement viables. Paroles d'acteurs. Rapport, Agrisud International, Libourne, 36 p.
- BEZANÇON G., PHAM J. L., DEU M., VIGOUROUX Y., SAGNARD F., MARIAC C., KAPRAN I., MAMADOU A., GÉRARD B., NDJEUNGA J., CHANTEREAUX J., 2009**
Changes in the diversity and geographic distribution of cultivated millet (*Pennisetum glaucum* (L.) B. Br.) and sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) varieties in Niger between 1976 and 2003. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56 : 223-236. <https://doi.org/10.1007/s10722-008-9357-3>
- CARDINALE B. J., GROSS K., FRITSCHIE K., FLOMBAUM P., FOX J. W., RIXEN C., VAN RUIJVEN J., REICH P. B., SCHERER-LORENZEN M., WILSEY B. J., 2013**
Biodiversity simultaneously enhances the production and stability of community biomass, but the effects are independent. *Ecology*, 94 (8) : 1697-1707.
<https://doi.org/10.1890/12-1334.1>

CHALLINOR A. J., WATSON J., LOBELL D. B., HOWDEN S. M., SMITH D. R., CHHETRI N., 2014

A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4 (4) : 287-91. <https://doi.org/10.1038/nclimate2153>

COOMES O. T., MCGUIRE S. J., GARINE E., CAILLON S., MCKEY D., 2015

Farmer seed networks make a limited contribution to agriculture? Four common misconception. *Food Policy*, 56 : 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.07.008>

COQUIL X., CERF M., AURICOSTE C., JOANNON A., BARCELLINI F., CAYRE P., CHIZALLET M., DEDIEU B., HOSTIOU N., HELLEC F., LUSSON J. M., OLRY P., OMON B., PROST L., 2018

Questioning the work of farmers, advisors, teachers and researchers in agroecological transition. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38 : 47. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0524-4>

DIENG D., LAUX P., SMIAITEK G., HEINZELER D., BLIEFERNICHT J., SARR A., GAYE A. T., KUNSTMANN H., 2018

Performance analysis and projected changes of agroclimatological indices across West Africa based on high-resolution regional climate model simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. <https://doi.org/10.1029/2018JD028536>

DORÉ T., MAKOWSKI D., MALÉZIEUX E., MUNIER-JOLAIN N., TCHAMITCHIAN M., TITTONELL P., 2011

Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy*, 34 (4) :197-210. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006>

EVENSON R. E., GOLLIN D., 2003

Assessing the impact of the green revolution, 1960 to 2000. *Science*, 300 (5620), 758-762. <https://doi.org/10.1126/science.1078710>

FAYE B., WEBBER H., NAAB J. B., MACCARTHY D. S., ADAM M., EWERT F., LAMERS J. P. A., SCHLEUSSNER C. F., RUANE A., GESSNER U., HOOGENBOOM G., BOOTE K., SHELIA V., SAEED F., WISSER D., HADIR S., LAUX P., GAISER T., 2018

Impacts of 1.5 versus 2.0°C on cereal yields in the West African Sudan savanna. *Environmental Research Letters*, 13 (3) : 034014. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaab40>

FRANCIS C., LIEBLEIN G., GLIESSMAN S., BRELAND T. A., CREAMER N., HARWOOD R., SALOMONSSON L., HELENIUS J., RICKERL D., SALVADOR R., WIEDENHOEFT M., SIMMONS S., ALLEN P., ALTIERI M., FLORA C., POINCELOT R., 2003

Agroecology: the ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22 (3) : 99-118. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10

GIRARD N., MAGDA D., 2018

Les jeux entre singularité et généricité des savoirs agroécologiques dans un réseau d'éleveurs. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 12 (2) : 199. <https://doi.org/10.3917/rac.039.0199>

GLIESSMAN S. (éd.), 1990

« Quantifying the agroecological component of sustainable agriculture: a goal ». In Gliessman S. (eds) : *Agroecology. ecological studies (analysis and synthesis)*, vol. 78, Springer, New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3252-0_21

GRAEUB B. E., CHAPPEL M. J., WITTMAN H., LEDERMANN S.,

BEZNER KERR R., GEMMIL-HERREN B., 2016
The state of family farms in the world. *World development*, 87 : 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006>

GRIFFON M., 2009

Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive et à haute valeur environnementale ? *Pour*, 202-203 (3) : 117-123. <https://doi.org/10.3917/pour.202.0117>

GRMAN E., LAU J. A.,

SCHOOLMASTER D. R., GROSS K. L., 2010
Mechanisms contributing to stability in ecosystem function depend on the environmental context. *Ecology Letter*, 13 : 1400-1410. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01533.x>

HAZARD L., STEYAERT P., MARTIN G., COUX N., NAVAS M. L., DURU M., LAUVIE A., LABATUT J., 2017

Mutual learning between researchers and farmers during implementation of scientific principles for sustainable development: The case of biodiversity-based agriculture. *Sustainability Science*, 13 (1). <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0440-6>

- HERTEL T. W., LOBELL D. B., 2014**
Agricultural adaptation to climate change in rich and poor countries: Current modeling practice and potential for empirical contributions. *Energy Economics*, 46 : 562-75. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.04.014>
- HOOPER D. U., CHAPIN F. S., EWEL J. J., HECTOR A., INCHAUSTI P., LAVOREL S., LAWTON J. H., LODGE D. M., LOREAU M., NAEEM S., SCHMID B., SETÄLÄ H., SYMSTAD A. J., VANDERMEER J., WARDLE D. A., 2005**
Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75 : 3-35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>
- HOWDEN S. M., SOUSSANA J. F., TUBIELLO F. N., CHHETRI N., DUNLOP M., MEINKE H., 2007**
Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104 (50) : 19691-19696. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701890104>
- JARVIS D. I., BROWN A. H. D., HUNG CUONG P., COLLADO-PANDURO L., LATOURNERIE-MORENO L., GYAWALI S., TANTO T., SAWADOGO M., MAR I., SADIKI M., HUE N. T. N., ARIAS-REYES L., BALMA D., BAJRACHARYA J., CASTILLO F., RIJAL D., BELQADI L., RANA R., SAIDI S., OUEDRAOGO J., ZANGRE R., RHRIB K., CHAVEZ J. L., SCHOEN D., STHAPIT B., DE SANTIS P., FADDA C., HODGKIN T., 2008**
A global perspective of the richness and evenness of traditional crop-variety diversity maintained by farming communities. 105 (14) : 5326-5331. www.scopus.com/inward/record.uri?partnerID=HzOxMe3b&scp=46149124558&origin=inward
- LECLÈRE M., 2020**
Introduire une espèce de diversification dans les systèmes de culture d'un territoire : articuler production de connaissances et conception dans des dispositifs multi-acteurs. Cas de la cameline dans l'Oise. Thèse de doctorat, université Paris-Saclay, 282 p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02528345>
- LE GAL P. Y., DUGUÉ P., FAURE G., NOVAK S., 2011**
How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm levels? A review. *Agricultural Systems*, 104 (9) : 714-728. <https://doi.org/10.1016/j.agsi>
- LE ROUX X., BARBAULT R., BAUDRY J., BUREL F., DOUSSAN I., GARNIER E., HERZOG F., LAVOREL S., LIFRAN R., ROGER-ESTRADE J., SARTHOU J. P., TROMMETTER M., 2008**
Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies. Rapport, Inra, INP, Toulouse, France, 117 p. <http://oatao.univ-toulouse.fr/16331>
- LOBELL D. B., SCHLENKER W., COSTA-ROBERTS J., 2011**
Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333 (6042) : 616-620. <https://doi.org/10.1126/science.1204531>
- LOVELL S. T., DUPRAZ C., GOLD M., JOSE S., REVORD R., STANEK E., WOLZ K. J., 2017**
Temperate agroforestry research: considering multifunctional woody polycultures and the design of long-term field trials. *Agroforestry Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0087-4>
- MULDER C. P. H., ULIASSI D. D., DOAK D. F., 2001**
Physical stress and diversity-productivity relationships: the role of positive interactions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98 (12) : 6704-6708. <https://doi.org/10.1073/pnas.111055298>
- MULLER B., LALOU R., KOUAKOU P., SOUMARÉ M. A., BOURGOIN J., DORÉGO S., SINE B., 2015**
« Le retour du mil sanio dans le Sine : une adaptation raisonnée à l'évolution climatique ». In Sultan B. et al. (éd.) : *Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest*, IRD Éditions, Marseille : 377-401.
- PIRONON S., ETHERINGTON T. R., BORRELL J. S., KÜHN N., MACIAS-FAURIA M., ONDO I., TOVAR C., WILKIN P., WILLIS K., 2019**
Potential adaptive strategies for 29 sub-Saharan crops under future climate change. *Nature Climate Change*, 9 (10) : 758-763. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0585-7>

PRIETO I., VIOLLE C., BARRE P., DURAND J. L., GHESQUIERE M., LITRICO I., 2015

Complementary effects of species and genetic diversity on productivity and stability of sown grasslands. *Nature plants*, 1 (4) : 15033. www.nature.com/articles/nplants201533.

RENARD D., TILMAN D., 2019

National food production stabilized by crop diversity. *Nature*, 571 (7764) : 257-260. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1316-y>

ROSSET P. M., ALTIERI M. A. (eds), 2017

Agroecology: science and politics. Fernwood Publishing, Canada, 160 p. <https://doi.org/10.1080/03066150.2019.1615184>

ROWELL D. P., 2006

A demonstration of the uncertainty in projections of UK climate change resulting from regional model formulation. *Climatic Change*, 79 : 243-257. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9100-z>

SARR B., 2012

Present and future climate change in the semi-arid region of West Africa: a crucial input for practical adaptation in agriculture. *Atmospheric Science Letters*, 13 (2) :108-112. <https://doi.org/10.1002/asl.368>

SULTAN B., DIMITRI D., TOSHICHIKA L., 2019

Evidence of crop production losses in West Africa due to historical global warming in two crop models. *Scientific Reports*, 9 (1) : 12834. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49167-0>

SYLLA M. B., GIORGI F., PAL J. S.,

GIBBA P., KEBE I., NIKIEMA M., 2015

Projected changes in the annual cycle of high-intensity precipitation events over West Africa for the late twenty-first century. *Journal of Climate*, 28 (16) : 6475-6488. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00854.1>

TAYLOR I. H., BURKE E., MCCOLL L.,

FALLOON P. D., HARRIS G. R.,

MCNEALL D., 2013

The impact of climate mitigation on projections of future drought. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17 : 2339-2358. <https://doi.org/10.5194/hess-17-2339-2013>

TILMAN D., 1999

The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles. *Ecology*, 80 : 1455. <https://doi.org/10.2307/176540>

TILMAN D., LEHMAN C. L.,

THOMSON K. T., 1997

Plant diversity and ecosystem productivity: theoretical considerations. *Proceedings of the national academy of sciences*, 94 (5) : 1857-1861. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.5.1857>

TILMAN D., REICH P. B., KNOPS J. M., 2006

Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, 441 (7093) : 629-632. <https://doi.org/10.1038/nature04742>

TOFFOLINI Q., CARDONA A., CASAGRANDE M.,

DEDIEU B., GIRARD N., OLLION E., 2019

Agroecology as farmers' situated ways of acting: a conceptual framework. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 43 (5) : 514-545. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1514677>

TORQUEBIAU E. F., 2000

« A renewed perspective on agroforestry concepts and classification ». *Comptes rendus, Académie des Sciences, Série III*, 323 : 1009-1017. [https://doi.org/10.1016/S0764-4469\(00\)01239-7](https://doi.org/10.1016/S0764-4469(00)01239-7)

TURCO M., PALAZZI E., HARDENBERG J. (von), PROVENZALE A., 2015

Observed climate change hotspots: observed climate change hotspots. *Geophysical Research Letters*, 42 (9) : 3521-3528. <https://doi.org/10.1002/2015GL063891>

VANDERMEER J. (ed), 1989

The ecology of intercropping. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511623523>

WHEELER T., VON BRAUN J., 2013

Climate change impacts on global food security. *Science*, 341 (6145) : 508-13. <https://doi.org/10.1126/science.1239402>

ZHU Y., CHEN H., FAN J., WANG Y.,

LI Y., CHEN J., MEW T. W., 2000

Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 406 (6797) : 718-722. <https://doi.org/10.1038/35021046>

Éditeurs scientifiques

J.-P. Profizi, S. Ardila-Chauvet, C. Billot, P. Couteron,
M. Delmas, T. M. H. Diep, P. Grandcolas, K. Kokou,
S. Muller, A. S. Rana, H. L. T. Ranarijaona, B. Sonke

Biodiversité des écosystèmes intertropicaux

Connaissance,
gestion durable et valorisation



Biodiversité des écosystèmes intertropicaux

Connaissance, gestion durable
et valorisation

Éditeurs scientifiques

Jean-Pierre PROFIZI, Stéphanie ARDILA-CHAUVET, Claire BILLOT,
Pierre COUTERON, Maité DELMAS, Thi My HANH DIEP,
Philippe GRANDCOLAS, Kouami KOKOU, Serge MULLER,
Anshuman Singh RANA, Hery Lisy Tiana RANARIJAONA, Bonaventure SONKE

*Cet ouvrage est une contribution du programme
« Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D).
Il a bénéficié du soutien de Agropolis Fondation.*

IRD Éditions

INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

Collection Synthèses

Marseille, 2021

Photo 1^{re} de couverture

© IRD/R. Oslisly – Forêt galerie dans le parc national de la Lopé, Gabon.

Photo 4^e de couverture

© IRD/G. Villegier – Fruits de *Coffea liberica*, espèce endémique d'Afrique de l'Ouest, introduite à La Réunion.

Citation requise :

PROFIZI J.-P. et al. (éd.), 2021 : *Biodiversité des écosystèmes intertropicaux. Connaissance, gestion durable et valorisation*. Marseille, IRD Éditions, coll. Synthèse, 784 p.

Coordination fabrication

IRD/Catherine Guedj

Préparation éditoriale

Agropolis Production/Isabelle Amsallem

Mise en page

Desk (53)

Maquette de couverture

IRD/Michelle Saint-Léger

Maquette intérieure

IRD/Pierre Lopez

La loi du 1^{er} juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contre-façon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© IRD, 2021

ISBN papier : 978-2-7099-2938-7
ISSN : 2431-7128

ISBN PDF : 978-2-7099-2939-4
ISBN epub : 978-2-7099-2940-0