



# Riziculture irriguée et changement climatique

## *Approfondissements méthodologiques pour la finance climat et la contribution aux trajectoires long terme AFOLU bas carbone et résiliente*

\*\*\*

## Livrable 2.1 - Indications pour mener les analyses relatives à l'adaptation au changement climatique d'un projet de riziculture irriguée

« Ces documents constituent des propositions techniques du consultant ayant réalisé l'étude. Ces propositions serviront à alimenter la méthodologie de l'AFD en cours d'élaboration en termes d'analyse climat des projets de riziculture irriguée et ne constituent donc pas à ce stade la méthodologie finalisée de l'AFD en la matière ».



"Une agriculture durable au cœur des territoires"



Avril 2023



## Sommaire

---

Acronymes .....	3
Liste des figures.....	4
Introduction .....	5
1. Qu'est-ce que le CC et pourquoi s'y adapter ?.....	6
1.1. Quels sont les effets globaux du CC ?.....	6
1.1.1. Effets actuels du CC au niveau mondial .....	6
1.1.2. Effets prévisibles / futurs du CC au niveau mondial .....	7
1.2. Quels sont les effets spécifiques du CC sur la riziculture ? .....	8
1.2.1. Considérations générales, à l'échelle mondiale.....	8
1.2.2. Considérations plus spécifiques, à l'échelle sous-régionale.....	10
1.3. Pourquoi adapter les pratiques agricoles au CC ? .....	12
1.3.1. Lutter contre le CC...ou s'y adapter ?.....	12
1.3.2. Quels liens entre cycles de la matière, production agricole, adaptation et atténuation ?.....	13
1.3.3. Comment concilier production agricole, adaptation et atténuation ? .....	13
2. Comment mener une analyse de vulnérabilité au CC d'un projet de riziculture irriguée ? .....	16
2.1. Quelle démarche globale pour l'analyse de vulnérabilité au CC ? .....	16
2.1.1. Que signifie vulnérabilité et adaptation au CC ?.....	16
2.1.2. Quelles sont les étapes d'une étude de vulnérabilité au CC ? .....	18
2.1.3. Quels sont les enjeux à considérer de façon transversale lors de l'étude ?.....	19
2.2. Pourquoi et comment collecter des données bibliographiques et de terrain ? .....	21
2.2.1. Pourquoi collecter des données bibliographiques et de terrain ? .....	21
2.2.2. Analyse bibliographique des grandes caractéristiques naturelles et socioéconomiques .....	21
2.2.3. Affiner l'analyse du système par des enquêtes terrain .....	23
2.3. Pourquoi et comment collecter des données de projections ? .....	24
2.3.1. Qu'est-ce qu'une projection climatique et à quoi cela sert pour une étude de vulnérabilité ?.....	24
2.3.2. Quelles données de projections climatiques utiliser ? .....	25
2.4. Comment présenter une chaîne d'impacts climatiques ? .....	27
2.4.1. Comment présenter une chaîne d'impacts climatiques ? .....	27
2.4.2. Elaboration d'une chaîne d'impacts. Exemple en Guinée.....	27
2.4.3. Difficulté de quantifier et spatialiser une chaîne d'impacts. Exemple en Rép. dominicaine .....	29
3. Comment planifier et mettre en œuvre des actions d'adaptation .....	31
3.1. Comment identifier les pratiques d'adaptation endogènes ?.....	31
3.1.1. Qu'est-ce qu'une pratique d'adaptation endogène et comment identifier de telles pratiques ? .....	31
3.1.2. Exemples de pratiques d'adaptation endogènes .....	32
3.2. Comment identifier des pratiques d'adaptation exogènes ?.....	32
3.2.1. Qu'est-ce qu'une pratique d'adaptation exogène et comment identifier de telles pratiques ? .....	32
3.2.2. Exemples de pratiques d'adaptation exogènes .....	33
3.3. Comment prioriser les options d'adaptation ?.....	35
3.3.1. Organiser des discussions approfondies pour l'analyse des options d'adaptation .....	35
3.3.2. Ex. de discussions sur l'option « Promouvoir la riziculture irriguée, via des AHA » en Haute Guinée... ..	36
3.4. Comment mettre en œuvre et suivre/évaluer les actions d'adaptation ?.....	37
3.4.1. Comment mettre en œuvre les actions d'adaptation ? .....	37
3.4.2. Comment suivre et évaluer les actions d'adaptation ? .....	38
Conclusion .....	38
Bibliographie .....	39
Annexe - Liste de bases de données en libre-accès et utiles pour des analyses d'adaptation .....	42

## Acronymes

---

ADOP	Accompagnement des dynamiques d'organisations paysannes
AFD	Agence française de développement
AFEID	Association française pour l'eau, l'irrigation et le drainage
AFOLU	<i>Agriculture, Forest, and Other Land Uses</i> (agriculture, forêt et autres utilisations des terres)
AHA	Aménagement hydroagricole
AIC	Agriculture intelligente face au climat ( <i>Climate-Smart Agriculture - CSA</i> )
AR	<i>Assessment Report</i> (rapport d'analyse)
AWD	<i>Alternate-Wetting-Drying</i> (alternance d'humidification et d'assèchement)
CC	Changement climatique
CCAFS	<i>Climate Change, Agriculture and Food Security</i> (changement climatique, agriculture et sécurité alimentaire)
CCKP	<i>Climate Change Knowledge Portal</i> (portail de connaissances sur le changement climatique)
CDN	Contribution déterminée au niveau national
CEC	Capacité d'échange cationique
CGIAR	<i>Consultative Group on International Agricultural Research</i> (Groupe consultatif pour la recherche agricole)
CIP	<i>Climate Information Portal</i> (Portail d'information climatique)
CMIP5	<i>Coupled Model Intercomparison Project Phase 5</i> (Projet d'inter-comparaison de modèles couplés - Phase 5)
CORDEX	<i>Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment</i> (Expérience régionale coordonnée de réduction d'échelle du climat).
COSTEA	Comité scientifique et technique pour l'eau agricole
CRG	<i>Chalky Rice Grains</i> (grains de riz crayeux)
ECMWF	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i> (Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme)
FAO	<i>Food and Agriculture Organisation</i> (Organisation des Nations-Unies pour l'alimentation et l'agriculture)
GES	Gaz à effet de serre
GFW	<i>Global Forest Watch</i> (surveillance mondiale des forêts)
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat ( <i>Intergovernmental Panel of Experts on Climate Change – IPCC</i> )
GIRE	Gestion intégrée des ressources en eau
IRRI	<i>International Rice Research Institute</i> (Institut international de recherche sur le riz)
ISIMIP	<i>Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project</i> (Projet d'inter-comparaison des modèles d'impacts intersectoriels)
MO	Matière organique
NERICA	<i>New Rice for Africa</i> (Nouveau riz pour l'Afrique)
OPA	Organisation professionnelle agricole
PAM	Programme alimentaire mondial
PFNL	Produits forestiers non ligneux
PNA	Plan national d'adaptation ( <i>National Adaptation Plan – NAP</i> )
PNUD	Programme des Nations-Unis pour le développement
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i> (profils d'évolution des concentrations de GES)
RFU	Réserve facilement utilisable en eau

RGPH	Recensement général de la population et de l'habitat
RNA	Régénération naturelle assistée
SFN	Solution fondée sur la nature
SIG	Système d'information géographique
SIGI	<i>Social Institutions and Gender Index</i> (Indice des institutions sociales et du genre)
SMART	Spécifique, Mesurable, Atteignable, Réaliste et Temporellement défini
SMHI	<i>Swedish Meteorological and Hydrological Institute</i> (Institut suédois de météorologie et d'hydrologie)
SRI	Système de riziculture intensive
SSP	<i>Shared Socio-economic Pathways</i> (voies socio-économiques partagées)
STD	Service technique déconcentré
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
UP	Unité de production
WASCAL	<i>West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use</i> (Centre de service scientifique ouest-africain sur le CC et l'utilisation adaptée des terres)

## Liste des figures

---

Figure 1 - Cartes mondiales des changements de température et de pluies à horizon 2100 (IPCC, 2021) .....	7
Figure 2 - Synthèse des effets du CC sur les rendements des cultures (IPCC, 2022) .....	8
Figure 3 - Variations des rendements en riz d'ici 2100 (HASEGAWA et al., 2021 in IPCC, 2022) .....	9
Figure 4 - Modélisation de l'occurrence de grains de riz crayeux au Japon d'ici 20240 (MASUTOMI et al., 2019) .....	10
Figure 5 - Schéma illustrant l'inertie du système climatique (IPCC, 2013).....	12
Figure 6 - Rôles du carbone, de l'azote et de l'eau dans la production agricole, l'adaptation et l'atténuation (auteurs, 2023) .....	13
Figure 7 - Schéma de l'agriculture conventionnelle (HUSSON et al., 2013) .....	14
Figure 8 - Schéma d'un système agroécologique : semis sous couvert végétal à Madagascar (HUSSON et al. 2013)	15
Figure 9 - Les trois composantes de la vulnérabilité au CC : exposition, vulnérabilité, capacité d'adaptation [(Climate Analytics, 2019), d'après (IPCC, 2007)].....	16
Figure 10 - Logigramme expliquant la genèse des risques climatiques (IPCC, 2012).....	17
Figure 11 - Projections climatiques selon les scénarios du 6 <sup>ème</sup> rapport d'analyse sur le climat (IPCC, 2021) .....	24
Figure 12 - Hausse de température moyenne mensuelle sur Kankan (RCP8.5. 2011-2040 vs 1981-2010) (SMHI, 2023) .....	26
Figure 13 - Hausse des crues décennales sur Kankan (RCP8.5. 2011-2040 et 2041-2070 vs 1981-2010) (SMHI, 2023) .....	27
Figure 14 - Chaîne d'impacts relatifs à la sensibilité de la riziculture à la baisse de fertilité des sols et à la hausse de l'enherbement (auteurs, 2021).....	28
Figure 15 - Cartes de sensibilité (à g.) et de vulnérabilité actuelle sur la filière riz au Nord de la Rép. Dominicaine (SalvaTerra & EGIS, 2020) .....	29
Figure 16 - Photo de riz semé sous couvert végétal (crédit : GSDM, 2008) .....	34
Figure 17 - Photo de sarclage sur parcelle en SRI (crédit : Inter-réseaux, 2011) .....	34
Figure 18 - Questions séquentielles pour analyser les options d'adaptation (auteurs, 2023) .....	35
Figure 19 - Synthèse de l'analyse participative de l'option "AHA" en Haute Guinée (SalvaTerra & EGIS, 2021a) .....	36

## Introduction

---

D'après la section « *Objet du marché* » des termes de référence de l'étude, il est indiqué que « *les travaux porteront essentiellement sur les questions d'atténuation. Les éléments sur l'adaptation seront intégrés dans le but de disposer de l'ensemble des outils nécessaires pour appréhender la question des co-bénéfices climat des projets et financements portant sur la riziculture irriguée* ».

Par ailleurs, dans la section « *Tâche 4 – Analyse adaptation* » de ces mêmes termes de référence, il est précisé que l'objet de cette tâche 4 et du présent livrable 2.1 qui en résulte est de « *donner un ensemble d'indications pour mener à bien une analyse adaptation d'un projet, c'est-à-dire pour s'assurer que le projet de riziculture irriguée permet d'améliorer la résilience face aux risques climatiques et n'accroît pas des vulnérabilités identifiées : éléments à considérer pour évaluer l'impact du changement climatique (CC) sur les systèmes rizières et sources de données climatiques à consulter ; bonnes pratiques à intégrer dans le cadre du projet pour améliorer la résilience face aux risques climatiques identifiés* ». NB : Le terme « projet » recouvre une grande diversité d'actions (réhabilitation / création de périmètre, appui de stratégie irrigation, etc.) dans une grande diversité de contextes.

Le présent livrable répond donc à ces termes de référence, en proposant les éléments suivants :

### **Dans la Partie 1, on présente les effets du CC et pourquoi il faut s'y adapter.**

Y sont présentés les effets actuels et prévisibles (futurs) du CC, à l'échelle mondiale (Partie 1.1) et, plus particulièrement sur la riziculture irriguée (Partie 1.2). Sont ensuite présentés (Partie 1.3) les raisons impérieuses de s'y adapter, en tenant compte des interactions entre processus naturels (photosynthèse, respiration, évapotranspiration ; cycles de l'eau, du carbone, de l'azote, de la matière organique) via des pratiques d'agriculture intelligente face au climat (AIC) et d'agroécologie.

### **Dans la Partie 2, on présente comment mener une analyse de vulnérabilité au CC d'un projet de riziculture irriguée.**

Dans la Partie 2.1, on y présente (Partie 2.1) les concepts (vulnérabilité, adaptation, etc.), les trois étapes d'une étude de vulnérabilité préalable à l'identification d'actions d'adaptation, et les enjeux transversaux à prendre en considération. Puis, on détaille la démarche d'analyse de la vulnérabilité actuelle (Partie 2.2 : description des caractéristiques socioéconomiques et naturelles de la zone d'étude ; description des CC déjà observés et leurs impacts actuels) et de la vulnérabilité future (Partie 2.3 : prise en compte des projections climatiques). Enfin, on indique (Partie 2.4) comment élaborer des chaînes d'impacts climatiques, en présentant des exemples (riziculture irriguée en Guinée et en République dominicaine).

### **Enfin, dans la Partie 3, on présente comment planifier et mettre en œuvre des actions d'adaptation.**

On présente successivement les pratiques d'adaptation endogènes (Partie 3.1) et exogènes (Partie 3.2), en donnant des exemples issus de divers contextes au niveau international et relatifs à la gestion des sols, de l'eau à la sélection variétale, etc. On présente ensuite (Partie 3.3) une approche pour confirmer/infirmier/affiner les options d'adaptation, en facilitant des réflexions collectives sur leur faisabilité technique, leur rentabilité financière et leur acceptabilité sociale. Enfin (Partie 3.4), on présente les principes clés à respecter pour mettre en œuvre les actions d'adaptation et assurer leur suivi/évaluation.

## 1. Qu'est-ce que le CC et pourquoi s'y adapter ?

---

### 1.1. Quels sont les effets globaux du CC ?

---

Le phénomène d'effet de serre est connu depuis deux siècles : Joseph FOURIER met en évidence dès 1824 le fait que la température au sol dépend (entre autres facteurs) de la composition en gaz de l'atmosphère et que l'Homme a une influence sur cette composition. En 1896, Svante ARRHENIUS confirme et démontre que l'utilisation d'énergies fossiles (charbon, pétrole, etc.) se traduit par des émissions de CO<sub>2</sub> et un réchauffement climatique.

Mais la prise de conscience globale du CC ne naîtra véritablement qu'avec le 1<sup>er</sup> rapport d'analyse sur les causes physiques du CC du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC ou *Intergovernmental Panel of experts on Climate Change* - IPCC) en 1990.

Par la suite, les cinq autres rapports d'analyse du GIEC sur les causes physiques du CC (2<sup>nd</sup> en 1995 ; 3<sup>ème</sup> en 2001 ; 4<sup>ème</sup> en 2007 ; 5<sup>ème</sup> en 2013 et 6<sup>ème</sup> en 2021) confirmeront à chaque fois avec plus de justesse et de certitude le fait que les activités humaines/anthropiques émettent des gaz à effet de serre (GES) et aggravent le CC.

Nous présentons dans ce qui suit les effets actuels et futurs du CC, au niveau mondial [en nous basant sur le 6<sup>ème</sup> rapport d'analyse du GIEC sur les causes physiques du CC (IPCC, 2021)<sup>1</sup>] et, à titre illustratif, en Guinée [en nous basant sur la Contribution déterminée au niveau national (CDN) de la Guinée dans le cadre de l'Accord de Paris (Gvt Guinée, 2021)<sup>2</sup>].

#### 1.1.1. Effets actuels du CC au niveau mondial

---

**Hausse des températures** : La température moyenne mondiale sur la période 2011-2020 était 1,09°C plus chaude que celle sur la période 1850-1900. Le rythme du réchauffement sur les 50 dernières années est sans précédent depuis au moins 2 000 ans.

**Fonte des glaciers de montagne et de la calotte groenlandaise** : Le retrait simultané de la plupart des glaciers de la planète est sans précédent depuis au moins 1 000 ans. La fonte de la calotte groenlandaise a été quatre fois plus rapide sur la période 2010-2019 que sur la période 1992-1999.

**Hausse du niveau des mers et océans** : La fonte des glaces et l'effet de dilatation thermique (NB : l'eau chaude occupe plus de place que l'eau froide) expliquent que le niveau de la mer a augmenté de 20 cm entre 1901 et 2018. Le niveau de la mer a augmenté plus rapidement depuis 1900 que pendant n'importe quel siècle depuis 3 000 ans.

**Acidification des mers et océans** : En plus d'aggraver l'effet de serre, l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique acidifie les mers et les océans, via sa dissolution dans les eaux de surface. L'acidité des mers et océans a atteint un niveau inédit depuis ces deux derniers millions d'années, ce qui représente un risque majeur pour la biodiversité marine.

**Modification de la répartition des pluies** : Le CC intensifie le cycle de l'eau. Cela génère des pluies plus intenses, avec les inondations qui les accompagnent, mais aussi des

---

<sup>1</sup> IPCC, 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the 6<sup>th</sup> Assessment Report of the IPCC* edited by MASSON-DELMOTTE, V., P. ZHAI, A. PIRANI, S.L. CONNORS, C. PEAN, S. BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M.I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZELL, E. LONNOY, J.B.R. MATTHEWS, T.K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKCI, R. YU, and B. ZHOU (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391p

<sup>2</sup> Gvt Guinée, 2021. *Contribution déterminée au niveau national au titre de la CCNUCC*. 47p

sécheresses plus intenses dans de nombreuses régions. Il est probable que les précipitations augmenteront aux hautes latitudes, alors qu'elles baisseront dans la plupart des régions subtropicales.

**Evènements climatiques extrêmes** : Ils sont globalement plus fréquents et plus intenses depuis 1950 : chaleurs extrêmes (dont la fréquence a doublé depuis 30 ans), fortes précipitations, feux de forêt, inondations, ouragans, sécheresses (en particulier dans le bassin méditerranéen, le Sud et l'Ouest de l'Afrique), etc.

### 1.1.2. Effets prévisibles / futurs du CC au niveau mondial

Les hausses de température et les perturbations des pluies s'aggraveront de façon hétérogène :

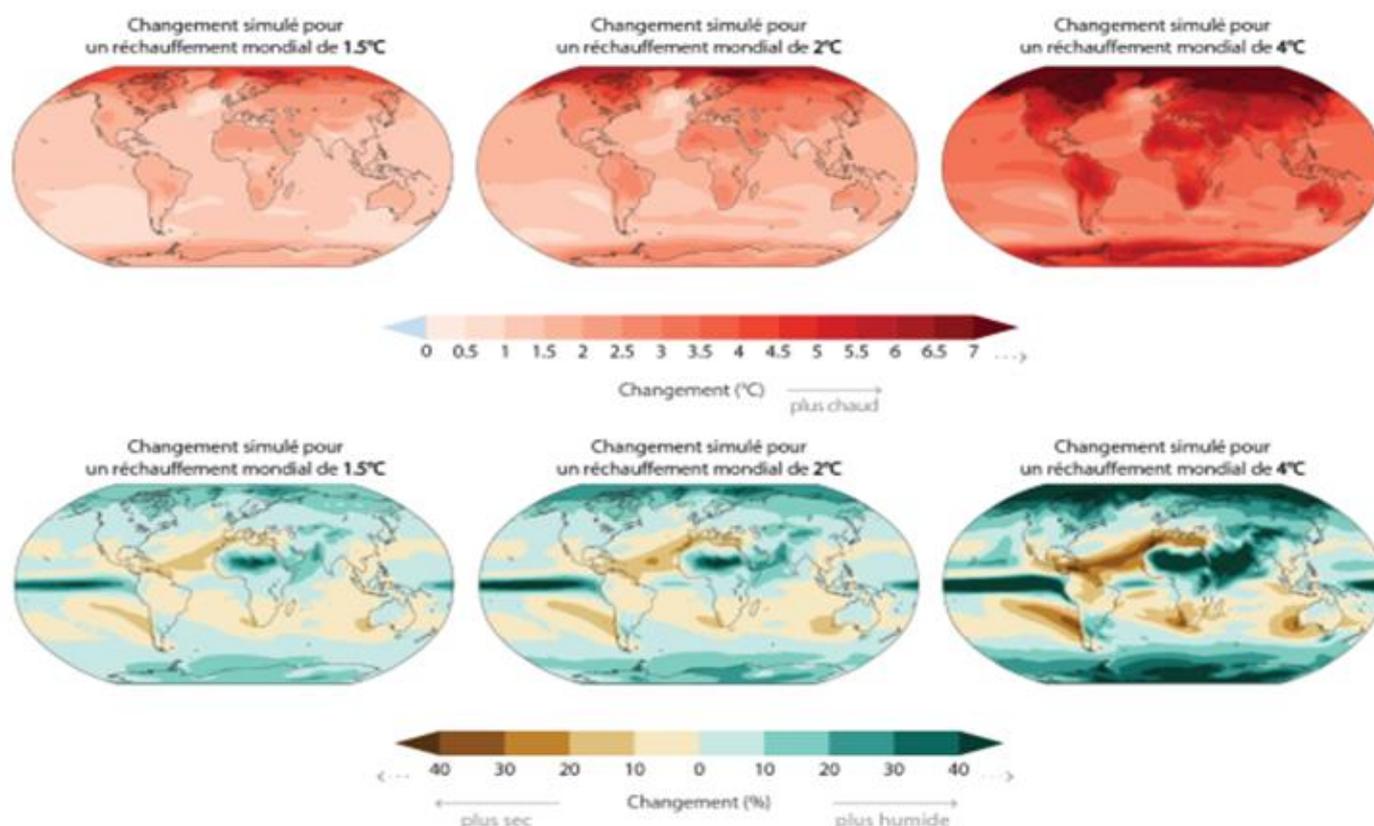


Figure 1 - Cartes mondiales des changements de température et de pluies à horizon 2100 (IPCC, 2021)

A l'horizon 2100, en suivant les tendances actuelles, les températures devraient augmenter sur l'ensemble de la planète. La hausse du niveau de la mer et l'acidification des océans devraient se poursuivre. Les vagues de chaleur, les pluies extrêmes et les ouragans devraient être encore plus fréquents et plus intenses. Les vagues de froid devraient se raréfier. Un été sans banquise dans l'Arctique est probable avant 2050, quoi que nous fassions.

Le CC devrait aussi conduire à une intensification du cycle hydrologique. Les précipitations devraient être globalement plus abondantes, surtout dans les hautes latitudes, les tropiques et les régions de mousson, mais devraient être plus variables, au cours d'une saison et d'une année à l'autre. Au centre et à l'Est de la zone saharo-sahélienne, les précipitations pourraient augmenter de façon considérable ... mais de façon erratique dans le temps et dans l'espace.

## 1.2. Quels sont les effets spécifiques du CC sur la riziculture ?

### 1.2.1. Considérations générales, à l'échelle mondiale

L'augmentation des températures et des concentrations de CO<sub>2</sub> atmosphérique peuvent à la fois avoir des effets bénéfiques et négatifs sur la riziculture, selon les zones agro-climatiques concernées, les cultivars, les systèmes de culture (gestion de l'eau et des nutriments notamment), etc. La hausse de la concentration de CO<sub>2</sub> pourrait favoriser la photosynthèse, mais les températures élevées pourraient provoquer la stérilité des épillets, un raccourcissement de la durée de remplissage des grains et des stress abiotiques entre autres (WASSMANN et al., 2009)<sup>3</sup>. En outre, le CC perturbe le cycle de l'eau et ces perturbations impactent à leur tour les cultures (inondations, sécheresses, variabilité des précipitations, etc.).

Quelques constats sont déjà faits. La variabilité climatique explique plus de 60% des variations de rendement par ha du maïs, du riz, du blé et du soja dans les principaux pays producteurs dans le monde (RAY et al., 2015 in IPCC, 2018)<sup>4</sup>. En moyenne sur la période 2010-2012, les pertes de rendement pour le riz ont été de plus de 4% (MILLS, 2018 in IPCC, 2022)<sup>5</sup>. La variabilité des précipitations serait responsable d'une perte de près de 2% de rendement du riz entre 1981 et 2010 (IPCC, 2022). À l'échelle mondiale, on estime qu'entre 1961 et 2006 la perte de rendement de la riziculture a été de 25% (LENG et HALL, 2019 in IPCC, 2022).

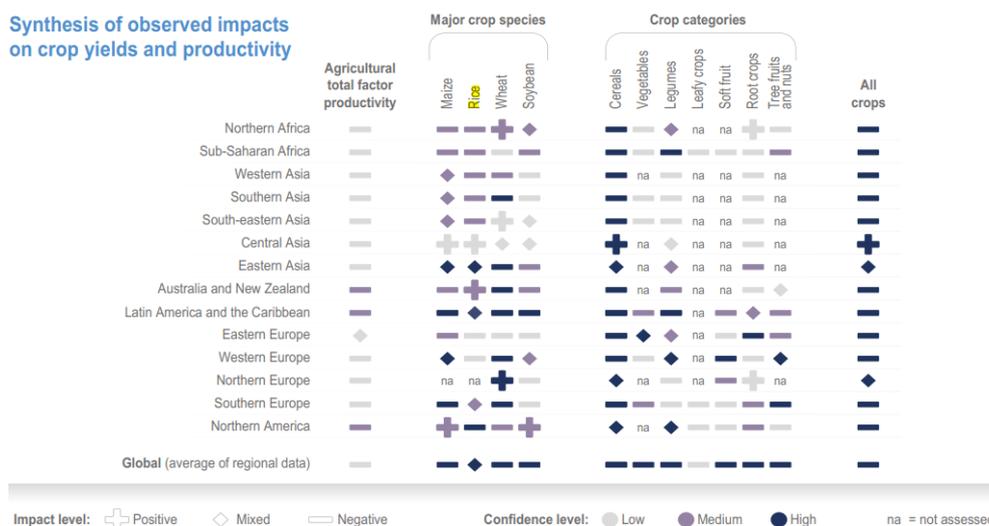


Figure 2 - Synthèse des effets du CC sur les rendements des cultures (IPCC, 2022)

<sup>3</sup> WASSMANN, R., JAGADISH, S. V. K., HEUER, S., ISMAIL, A., REDONA, E., SERRAJ, R., SINGH, R. K., HOWELL, G., PATHAK, H., and SUMFLETH, K., 2009. *Chapter 2 Climate change affecting rice production: The physiological and agronomic basis for possible adaptation strategies*. *Advances in Agronomy* 101.

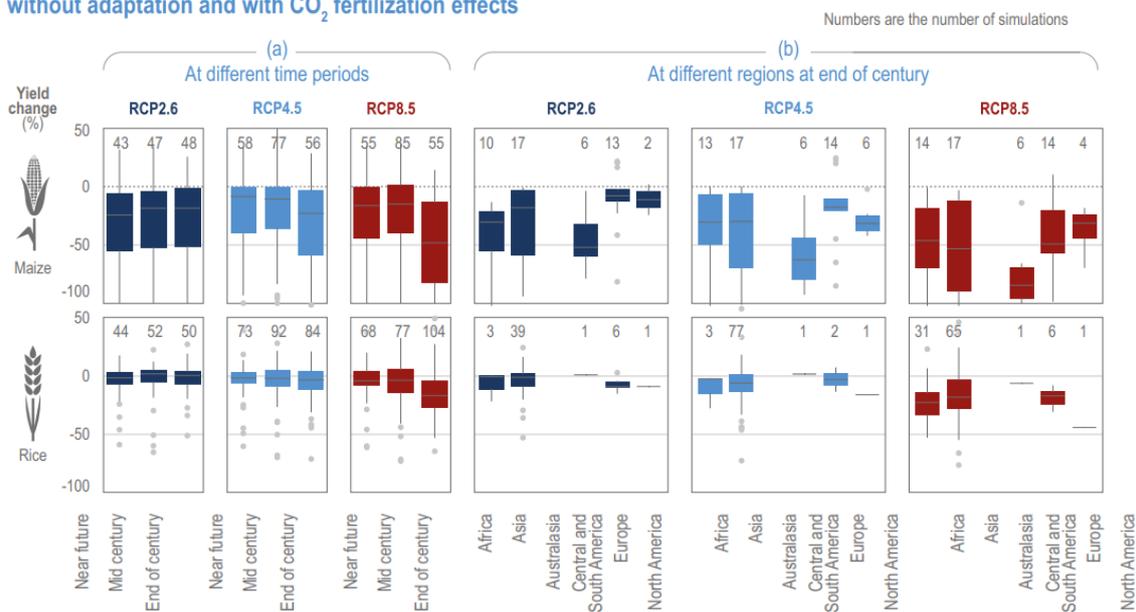
<sup>4</sup> IPCC, 2018. *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* edited by MASSON-DELMOTTE, V., P. ZHAI, H.-O. PORTNER, D. ROBERTS, J. SKEA, P.R. SHUKLA, A. PIRANI, W. MOUFOUMA-OKIA, C. PEAN, R. PIDCOCK, S. CONNORS, J.B.R. MATTHEWS, Y. CHEN, X. ZHOU, M.I. GOMIS, E. LONNOY, T. MAYCOCK, M. TIGNO, and T. WATERFIELD (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 616p.

<sup>5</sup> IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the 6<sup>th</sup> Assessment Report of the IPCC* edited by H.-O. PORTNER, D.C. ROBERTS, M. TIGNOR, E.S. POLOCZANSKA, K. MINTENBECK, A. ALEGRIA, M. CRAIG, S. LANGSDORF, S. LOSCHKE, V. MOLLER, A. OKEM, B. RAMA (eds.). Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056p.

Les évolutions de température et de précipitations ont des effets moins clairs sur les rendements du riz que sur d'autres cultures : les rendements peuvent augmenter ou baisser selon les hypothèses de projection climatique, les zones agroécologiques, les systèmes de culture, etc. (KIM et al., 2013 ; VAN OORT et ZWART, 2018 in IPCC 2018). Les publications citées ci-dessous témoignent de cette diversité des impacts du CC sur la riziculture, selon les hypothèses considérées :

- Certains estiment que le rendement global moyen en riz serait plus élevé à +2°C qu'à +1,5°C de réchauffement global (LIZUMI et al., 2017 in IPCC, 2018). Il augmenterait au-delà de +2°C puis plafonnerait à +3°C (LIZUMI et al., 2017 in IPCC, 2019)<sup>6</sup> ;
- A contrario, certains estiment que la production mondiale de riz baisserait drastiquement (de 3,2 à 3,7%) pour chaque degré Celsius d'augmentation de la température moyenne mondiale (ASSENG et al., 2015 ; C. ZHAO et al., 2017 in IPCC, 2018) ;
- Une méta-analyse des effets de la sécheresse, d'une concentration élevée en CO<sub>2</sub> et de la hausse de la température conclut à la baisse de la production globale de riz (entre autres) dans les zones tempérées et tropicales à partir d'un réchauffement local de +2°C (CHALLINOR et al., 2014 in IPCC, 2018) ;
- Une concentration en CO<sub>2</sub> élevée serait positivement corrélée au rendement du riz (AINSWORTH et LONG, 2021 in IPCC, 2022). Cette réponse varierait selon les cultivars ;
- Certains modèles prévoient une réduction potentielle de 39% de la production globale d'ici 2100 (MUEHE et al., 2019 in IPCC, 2022) en considérant les impacts combinés du CC et de la présence d'arsenic dans les rizières, qui pourraient doubler la teneur en métaux lourds toxiques du riz dans certaines régions.

**Projected yield changes relative to the baseline period (2001–2010) without adaptation and with CO<sub>2</sub> fertilization effects**



**Figure 3 - Variations des rendements en riz d'ici 2100 (HASEGAWA et al., 2021 in IPCC, 2022)**

<sup>6</sup> IPCC, 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* edited by P.R. SHUKLA, J. SKEA, E. CALVO BUENDIA, V. MASSON-DELMOTTE, H.-O. PORTNER, 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. PORTUGAL PEREIRA, P. VYAS, E. HUNTLEY, K. KISSICK, M. BELKACEMI, J. MALLEY (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 896p.

### 1.2.2. Considérations plus spécifiques, à l'échelle sous-régionale

#### → En Asie, notamment Asie du Sud-Est et du Sud

Le GIEC rappelle (i) qu'un certain nombre de régions d'Asie sont déjà proches des limites du stress thermique et (ii) que la plupart des modèles et scénarios suggèrent que des températures plus élevées entraîneront des périodes de croissance plus courtes pour la culture du riz, ce qui se traduira par une baisse des rendements rizicoles (IPCC, 2022).

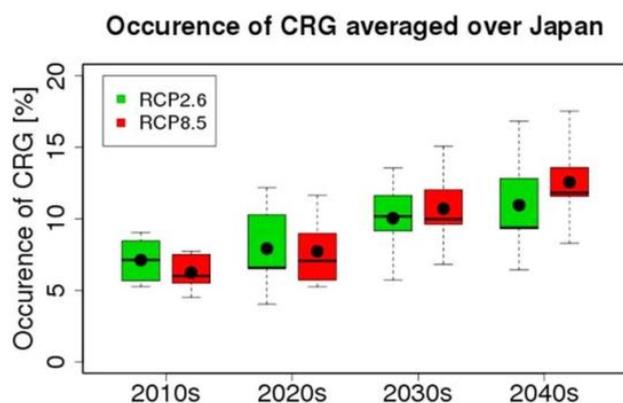
En Asie du Sud-Est, des zones du centre de la Thaïlande et du Myanmar connaissent des températures supérieures à 36°C : la riziculture y a déjà atteint les limites critiques de tolérance à la chaleur, mettant en danger le potentiel de production futur (WASSMANN et al., 2009b)<sup>7</sup>.

En Asie du Sud Est, dans la sous-région du Grand Mékong, le rendement en riz devrait diminuer d'environ 10,3% pour chaque degré Celsius d'augmentation de température (confiance moyenne) (LI et al., 2017 in IPCC, 2018).

En Asie du Sud, les rendements des principales cultures vont aussi être affectés par la baisse des précipitations en l'absence d'irrigation. Cela pèsera plus fortement en Asie du Sud, plus sèche, qu'en Asie de l'Est et du Sud-Est, plus humide (RAY et al., 2015 in IPCC, 2022).

Outre la variabilité préoccupante des rendements, l'Asie du Sud-Est va aussi devoir faire face à une diminution de la valeur nutritive du riz. Un réchauffement entre +2,3°C et +3,3°C à horizon 2080 devrait entraîner une baisse de la teneur en protéines, micronutriments et vitamines B des 18 cultivars de riz les plus cultivés en Asie du Sud-Est, ce qui affectera l'alimentation de 600 millions de personnes dans cette région (ZHU et al., 2018 in IPCC, 2018).

En plus d'une perte de valeur nutritive, la perte de qualité du riz fait aussi l'objet d'interrogations. La hausse des températures serait à l'origine d'une présence accrue de grains crayeux (*Chalky Rice Grains* - CRG) notamment en Asie de l'Est, ce qui dégrade sa qualité d'usinage et son appétence (LYMAN et al., 2013 ; MORITA et al., 2016 ; MASUTOMI et al., 2019 ; ISHIGOOKA et al., 2021 in IPCC, 2022). L'occurrence des CRG pourrait doubler d'ici 2040 (par rapport à 2010) dans le cadre d'un scénario RCP8.5 (MASUTOMI et al., 2019)<sup>8</sup>.



**Figure 4 - Modélisation de l'occurrence de grains de riz crayeux au Japon d'ici 20240 (MASUTOMI et al., 2019)**

<sup>7</sup> WASSMANN, R., JAGADISH, S. V. K., HEUER, S., ISMAIL, A., REDONA, E., SERRAJ, R., SINGH, R. K., HOWELL, G., PATHAK, H., and SUMFLETH, K., 2009. *Chapter 3 Regional Vulnerability of Climate Change Impacts on Asian Rice Production and Scope for Adaptation*. Advances in Agronomy 101.

<sup>8</sup> MASUTOMI, Y., et al., 2019. *Rice grain quality degradation and economic loss due to global warming in Japan*. Environ. Res. Commun., 1(12), 121003.

L'augmentation du niveau de la mer va aussi poser problème en Asie, dans la mesure où une large partie de la production rizicole se fait dans les méga-deltas (Bangladesh, Viet Nam, Myanmar), très exposés aux événements climatiques extrêmes (WASSMANN et al., 2009b).

Par exemple, le delta du Mékong au Viêt Nam contribue à 54% de la production nationale de riz (pour l'année 2005 ; IRRI, 2008 in WASSMANN et al., 2009b) et est aussi l'un des principaux deltas producteurs de riz à l'échelle mondiale. Cependant, il est très exposé aux inondations, à l'élévation du niveau de la mer, à l'intrusion de la salinité et à la sécheresse (PARKER et al., 2019 in IPCC, 2022). L'intrusion saline entraîne des pertes de rendement pouvant atteindre 4 t/ha/an (KHAT et al., 2018 in IPCC, 2022) et s'étend à 15 km à l'intérieur des terres en saison des pluies, et jusqu'à 50 km en saison sèche (GUGLIOTTA et al., 2017 in IPCC, 2022).

Enfin, le manque d'eau aura aussi des impacts majeurs. La compétition pour l'eau va s'aggraver avec le CC, avec l'épuisement des nappes souterraines, l'envasement des réservoirs, la pollution chimique, la salinisation, le mauvais fonctionnement des systèmes d'irrigation et la concurrence accrue entre besoins agricole, urbains et industriels. Le manque d'eau menace 15-20 millions d'ha de riz irrigué en Asie d'ici 2025 (MOHANTY et al., 2013)<sup>9</sup>.

Ainsi, le système blé-riz des plaines indiennes - crucial en termes d'approvisionnement alimentaire en Asie – est l'un des plus vulnérable de la sous-région. Il est menacé (entre autres) par le recul des glaciers himalayens, alimentant le Gange et ses affluents pendant la saison sèche (WASSMANN et al., 2009b).

## → En Afrique

Les rendements en riz en Afrique de l'Ouest devraient être impactés négativement par l'augmentation des températures, plus particulièrement le riz de contre-saison dont les rendements diminueraient entre 15% et 45% selon les modalités d'adaptation mises en œuvre (VAN OORT et al., 2017)<sup>10</sup>.

L'augmentation de la salinité menace environ 650 000 ha de riziculture en Afrique de l'Ouest. Même si la riziculture pluviale est la plus sujette au stress hydrique, les rizières irriguées où la maîtrise de l'eau est insuffisante seront également touchées (MANNEH et al., 2007)<sup>11</sup>.

En Afrique, le changement climatique risque aussi d'aggraver les pertes dues aux insectes ravageurs. En se basant sur les relations établies entre la température, la croissance de la population et les taux métaboliques des insectes, il est estimé que les pertes dues aux insectes pourraient augmenter de 50% (par rapport à la période 1950-2000) si le réchauffement climatique atteint +2°C (DEUTSCH et al., 2018 in IPCC, 2022)<sup>12</sup>.

En Afrique, le développement des adventices pourraient également être favorisé par le CC, en raison de leur capacité à s'adapter à des environnements changeants et de leur large tolérance climatique (RODENBURG et al., 2010)<sup>13</sup>. Ainsi, *Striga hermonthica* devrait se

---

<sup>9</sup> MOHANTY S, WASSMANN R, NELSON A, MOYA P, and JAGADISH SVK, 2013. *Rice and climate change: significance for food security and vulnerability*. IRRI Discussion Paper Series No. 49. Los Baños. 14p

<sup>10</sup> VAN OORT P.A.J., ZWART S.J., 2017. *Impacts of climate change on rice production in Africa and causes of simulated yield changes*. Glob Change Biol. 2018; 24:1029–1045.

<sup>11</sup> MANNEH B, KIEPE P, SIE M, NDJIONDJOP M, DRAME Nk, TRAORE K, RODENBURG J, SOMADO E, NARTEH L, YOUM O, DIAGNE A, FUTAKUCHI K, 2007. *Exploiting partnerships in research and development to help African rice farmers cope with climate variability*. J. SAT Agri. Res. 4.

<sup>12</sup> DEUTSCH CA, TEWKSBURYJJ, TIGCHELAAR M, BATTISTI DS, MERILL SC, HUEY RB, NAYLOR RL, 2018. *Increase in crop losses to insect pests in a warming climate*. Science. 2018 Aug 31;361(6405):916-919.

<sup>13</sup> RODENBURG J, RICHES CR, KAYEKE JM, 2010. *Addressing current and future problems of parasitic weeds in rice*. Crop Protection, Volume 29, Issue 3, pp210-221.

développer dans les environnements à faible pluviométrie ; *Rhamphicarpa fistulosa* devrait quant à elle se développer dans les environnements soumis à des inondation temporaires.

Plus généralement les adventices rhizomateuses pérennes en C3 et les espèces adaptées aux conditions hydromorphes devraient se développer, notamment dans les systèmes rizicoles irrigués et non inondés (RODENBURG et al., 2011)<sup>14</sup>. Rappelons que la concurrence des adventices est un enjeu majeur de la riziculture africaine (perte de rendement et coûts de lutte contre les adventices) (RODENBURG et al., 2009)<sup>15</sup>.

### 1.3. Pourquoi adapter les pratiques agricoles au CC ?

#### 1.3.1. Lutter contre le CC...ou s'y adapter ?

La réponse est : « lutter contre le CC et s'y adapter » ! En effet, à cause de la longue durée de vie des GES dans l'atmosphère, le système climatique a une forte inertie. On peut comparer le CC à un train : il faudra freiner fort et longtemps avant de l'arrêter. Comme l'illustre le schéma ci-dessous, si on atteignait un pic d'émissions de CO<sub>2</sub> dans les prochaines années, la concentration de CO<sub>2</sub> se stabiliserait. Mais cette stabilisation se ferait à un niveau élevé de concentration et la température moyenne continuerait d'augmenter.

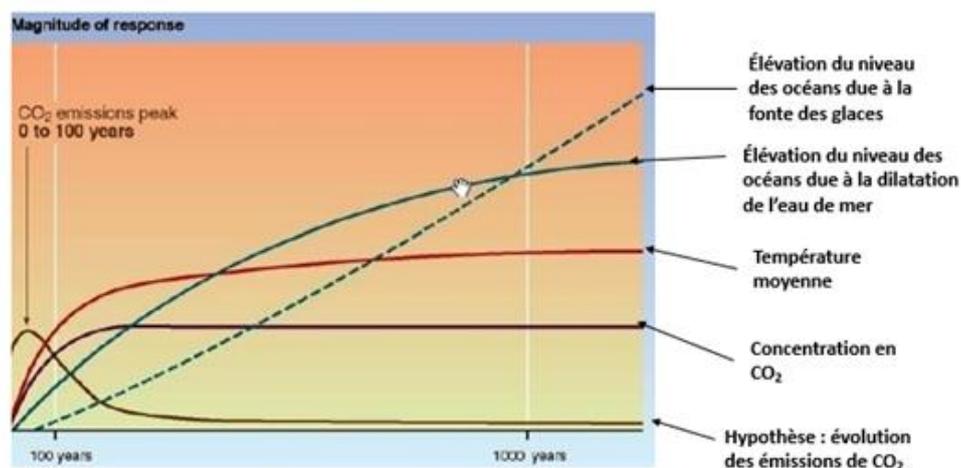


Figure 5 - Schéma illustrant l'inertie du système climatique (IPCC, 2013)<sup>16</sup>

Conséquemment, le niveau des océans continuerait à augmenter sous l'effet de la dilatation de l'eau de mer et de la fonte des glaces. Sachant cela, tout bon praticien du développement rural doit chercher à identifier des actions qui vont à la fois permettre :

- D'adapter les pratiques agrosylvopastorales aux effets du CC : « **adaptation au CC** »
- De diminuer les émissions de GES dues à ces pratiques et d'augmenter la séquestration de CO<sub>2</sub> dans la végétation et dans les sols : « **atténuation du CC** ».

<sup>14</sup> RODENBURG J., MEINKE H., JOHNSON D.E., 2011. *Challenges for weed management in African rice systems in a changing climate*. Journal of Agricultural Science (2011), 149, 427–435. Cambridge University Press 2011.

<sup>15</sup> RODENBURG J., JOHNSON D.E., 2009. *Chapter 4 Weed Management in Rice-Based Cropping Systems in Africa*. Advances in Agronomy, Academic Press, Volume 103. Pp 149-218.

<sup>16</sup> IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the 5<sup>th</sup> Assessment Report of the IPCC edited by STOCKER, T.F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX and P.M. MIDGLEY (eds.)*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535p

### 1.3.2. Quels liens entre cycles de la matière, production agricole, adaptation et atténuation ?

Les principaux cycles de la matière en agriculture sont les suivants : La photosynthèse, la respiration et l'évapotranspiration ; Le cycle de l'eau ; Le cycle de la matière organique ; Le cycle du carbone ; Le cycle de l'azote. A ces cycles naturels s'ajoutent depuis la révolution industrielle les émissions/absorptions de GES d'origine humaine.

De tous ces cycles, on peut retenir les rôles cruciaux de trois éléments - le carbone (C), l'azote (N) et l'eau (H<sub>2</sub>O) –dans la production agricole et l'adaptation au CC, d'une part ; dans l'atténuation du CC, d'autre part [(FAO, 2020)<sup>17</sup> FAOSTAT<sup>18</sup>] :

<p style="text-align: center;"><b><u>Carbone (C) :</u></b></p> <p>Indispensable à la photosynthèse / principal élément constitutif des végétaux</p> <p>Indispensable à la création d'humus et la fertilisation des sols</p> <p>CO<sub>2</sub> = 1<sup>er</sup> GES du secteur agricole (76%) : combustion de végétaux, oxydation du carbone des sols, etc.</p> <p>CH<sub>4</sub> = 2<sup>nd</sup> GES du secteur agricole (16%. PRG = 34) : combustion de végétaux (incomplète, sur front de flamme), fermentation sans air / anaérobie (riziculture, émissions entériques des animaux)</p> <p style="text-align: center;"><b><u>Azote (N) :</u></b></p> <p>Un des principaux éléments nutritifs des plantes (avec le phosphore P et le potassium K)</p> <p>Indispensable à la création d'humus et la fertilisation des sols (rapport C/N variant de 50-150 pour la paille à environ 10 pour l'humus)</p> <p>N<sub>2</sub>O = 3<sup>ème</sup> GES du secteur agricole (6%. PRG = 298) : fermentation à l'air / aérobie (drainage des zones humides, émissions du fumier, dénitrification des engrais azotés)</p> <p style="text-align: center;"><b><u>Eau (H<sub>2</sub>O) :</u></b></p> <p>Indispensable à la photosynthèse / principal élément constitutif des végétaux</p> <p>Pluies de plus en plus erratiques, dans le temps et l'espace : baisse de la fonction puits de carbone des végétaux, ce qui diminue leur capacité d'atténuation du CC</p> <p>Evapotranspiration plus forte avec la hausse des températures : baisse de la fonction puits de carbone des végétaux, ce qui là encore diminue leur capacité d'atténuation du CC</p>
--

Figure 6 - Rôles du carbone, de l'azote et de l'eau dans la production agricole, l'adaptation et l'atténuation (auteurs, 2023)

### 1.3.3. Comment concilier production agricole, adaptation et atténuation ?

Après la seconde guerre mondiale dans les pays développés, puis durant la période 1960-1990 dans les pays en développement, notamment en Asie du Sud-Est (période dite de la « Révolution verte »), la production agricole a beaucoup augmenté grâce à la motorisation, aux intrants chimique (engrais et produits phytosanitaires), aux semences améliorées et à l'irrigation.

<sup>17</sup> FAO. 2020. *Emissions due to agriculture. Global, regional and country trends 2000–2018*. FAOSTAT Analytical Brief Series No 18. 14p

<sup>18</sup> <https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT>

Ce modèle dit d'« agriculture conventionnelle » (Cf. figure ci-dessous) repose sur une artificialisation des processus : les semences sont sélectionnées et standardisées, ce qui appauvrit la biodiversité ; le sol est régulièrement labouré au tracteur pour faciliter le semis, ce qui tasse les sols ; les adventices et bioagresseurs sont contrôlés avec des produits phytosanitaires ; la fertilité des sols est maintenue avec l'apport massif d'engrais chimiques.

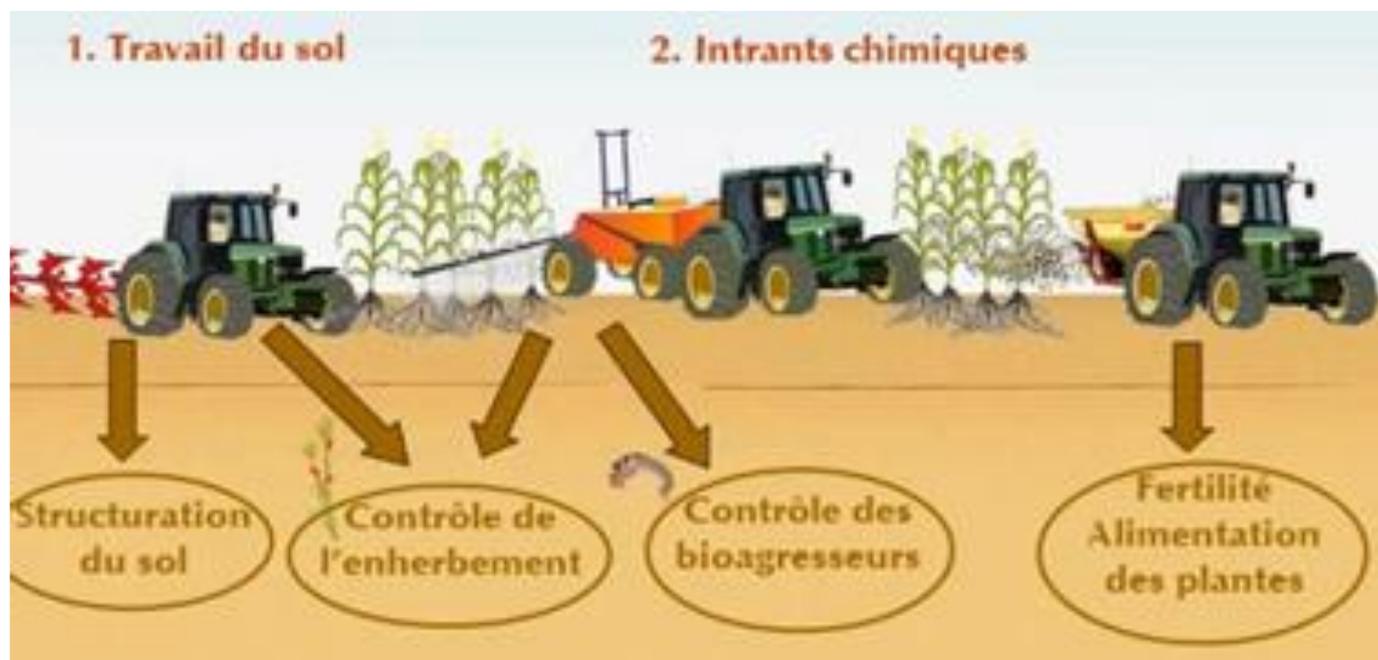


Figure 7 - Schéma de l'agriculture conventionnelle (HUSSON et al., 2013)<sup>19</sup>

Ce modèle a certes permis d'augmenter la production, mais au prix d'une forte dégradation des sols, des eaux et de la biodiversité (par exemple, accumulation de produits chimiques qui perturbe la faune et la flore du sol, qui pollue l'eau et rend sa consommation dangereuse pour l'Homme et les animaux)... Ce modèle n'est donc pas durable.

En réaction au modèle d'agriculture conventionnelle, divers modèles alternatifs ont été promus ces dernières décennies, sous différentes appellations : agriculture durable, intensification durable, agriculture de conservation...et plus récemment encore Agriculture intelligente face au climat (AIC ; *Climate-Smart Agriculture* - CSA) et agroécologie. On peut résumer leur approche commune comme suit :

**Utiliser au mieux les ressources et les processus naturels pour produire durablement, à moindre coût et de façon adaptée dans le contexte du CC.**

L'AIC et l'agroécologie ne désignent donc pas un modèle standard / unique d'agriculture, mais une multitude d'itinéraires techniques / de pratiques adaptés à des contextes locaux (Cf. figure ci-dessous). L'AIC complète l'agroécologie en mettant explicitement en avant la nécessité de concilier production agricole avec atténuation du CC et adaptation au CC (choix de cultures adaptées aux nouvelles conditions climatiques, recalage des calendriers agropastoraux, suivi et gestion fine des risques climatiques, etc.)

<sup>19</sup> HUSSON et al, 2013. *Manuel pratique du semis direct sur couverture végétale permanente (SCV). Application à Madagascar*. Groupement semis direct de Madagascar (GSDM) & Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement. Cf. version interactive sur <http://uved-scv.cirad.fr/co/AccueilGuideSCV.html>

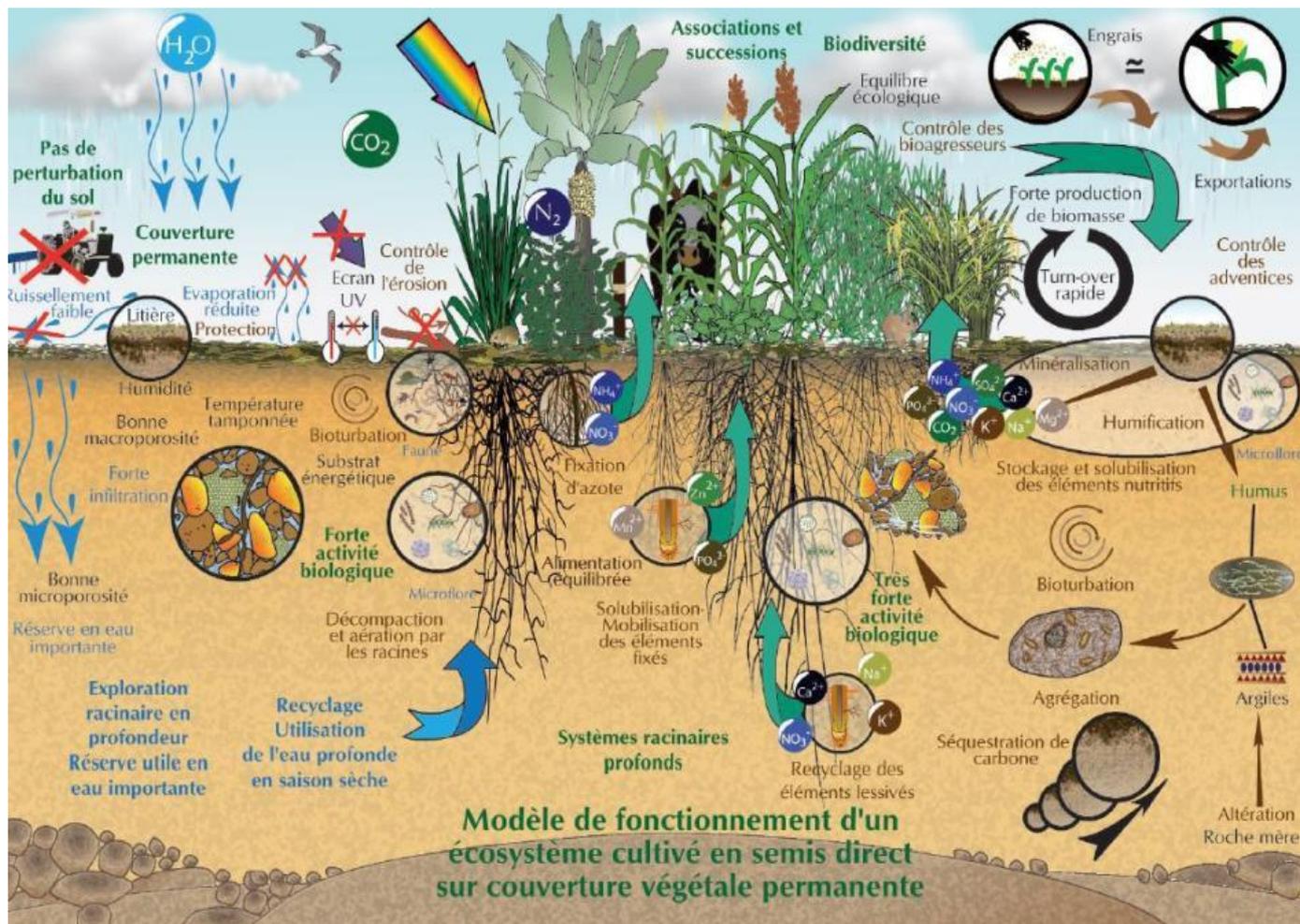


Figure 8 - Schéma d'un système agroécologique : semis sous couvert végétal à Madagascar (HUSSON et al. 2013)

Le schéma ci-dessus est très dense : il reflète la complexité des systèmes agricoles, les interactions diverses et nombreuses qui existent, et le danger de l'agriculture conventionnelle qui ignore cette complexité et conduit à penser qu'il faut à tout prix domestiquer la nature pour produire. In fine, les processus s'artificialisent et la production n'est pas durable à long terme.

Par exemple, dans le schéma précédent sur l'agriculture conventionnelle, le sol est considéré comme un support de culture : on le laboure fréquemment au tracteur, on y verse des engrais, on y épand des pesticides... Tout ceci au détriment de la faune et de la flore du sol, qui est pourtant d'une importance capitale pour maintenir la fertilité naturelles des sols, en permettant la fixation d'azote atmosphérique, l'humification de la matière organique qui permet d'améliorer la rétention d'eau, la minéralisation de l'humus qui permet d'alimenter les plantes, etc.

En conclusion, les pratiques d'AIC / agroécologie sont nombreuses et se déclinent par rapport à diverses thématiques : gestion des sols, sélection variétale, gestion de l'eau, agroforesterie, etc. Ces pratiques constituent des actions d'adaptation au CC. Plus de détail est fourni dans la **Partie 3.2**.

## 2. Comment mener une analyse de vulnérabilité au CC d'un projet de riziculture irriguée ?

### 2.1. Quelle démarche globale pour l'analyse de vulnérabilité au CC ?

#### 2.1.1. Que signifie vulnérabilité et adaptation au CC ?

D'après le 4<sup>ème</sup> rapport sur les impacts et l'adaptation au CC du GIEC (IPCC, 2007)<sup>20</sup>, s'appuyant sur le 3<sup>ème</sup> rapport sur les impacts et l'adaptation au CC du GIEC (IPCC, 2001)<sup>21</sup> [rapport souvent cité dans la littérature avec le nom d'un de ses co-auteurs principaux : (MAC CARTHY et al., 2001)], la **vulnérabilité** résulte de la combinaison de trois composantes :

- **Exposition** : « nature et degré des variations ou des aléas climatiques auxquels un système est exposé » ;
- **Sensibilité** : « degré selon lequel un système est affecté ou modifié, de manière négative ou bénéfique, directe ou indirecte, par des stimuli liés au climat » ;
- **Capacité d'adaptation** : « capacité du système à modérer les dommages possibles, à tirer parti des opportunités ou à faire face aux impacts. »

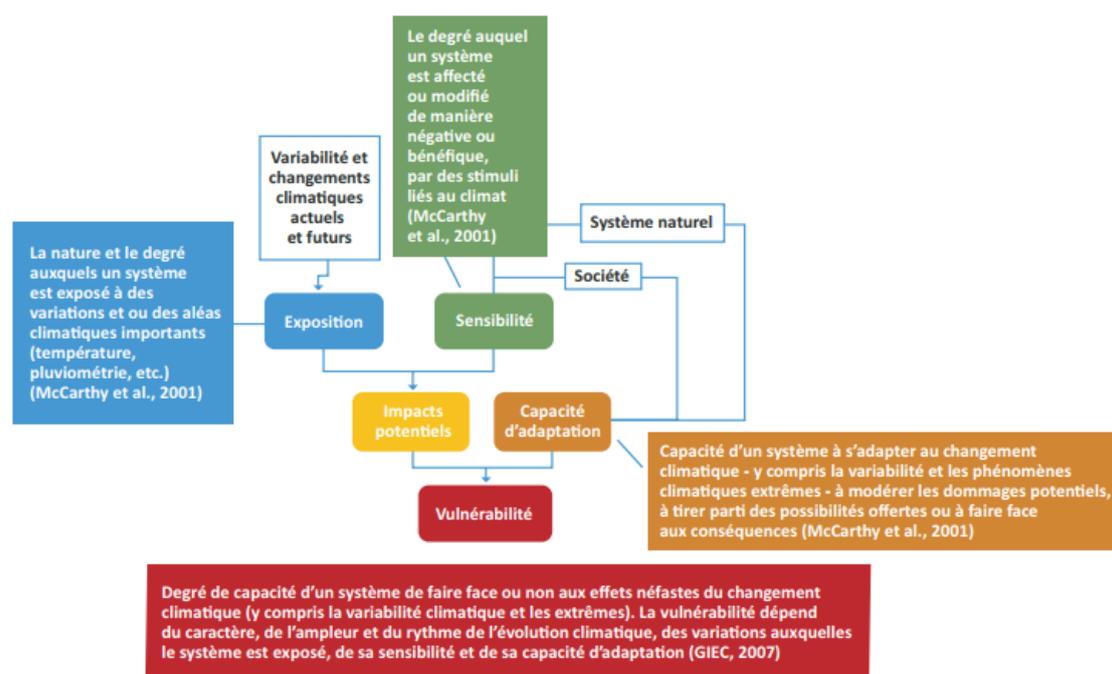


Figure 9 - Les trois composantes de la vulnérabilité au CC : exposition, vulnérabilité, capacité d'adaptation [(Climate Analytics, 2019)<sup>22</sup>, d'après (IPCC, 2007)]

<sup>20</sup> IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the 4<sup>th</sup> Assessment Report of the IPCC*, edited by M.L. PARRY, O.F. CANZIANI, J.P. PALUTIKOF, P.J. VAN DER LINDEN and C.E. HANSON (eds). Cambridge University Press, UK. 976p

<sup>21</sup> IPCC, 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the 3<sup>rd</sup> Assessment Report of the IPCC*, edited by J. J. McARTHUR, O. F. CANZIANI, N. A. LEARY, D. J. DOKKEN and K. S. WHITE (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA, 2001. 1032p

<sup>22</sup> Climate Analytics, 2019. *Guide de bonnes pratiques pour la conduite d'études de vulnérabilité au CC en Afrique de l'Ouest*. 80p

Le terme « **système** » est par ailleurs défini comme un « *ensemble de personnes, de moyens de subsistance, de services écosystémiques, d'infrastructures et d'équipements* ». Il est possible d'analyser la vulnérabilité d'un système dans son ensemble (par ex, une population donnée ou un système agricole donné) et d'affiner cette analyse en considérant des sous-ensembles du système, (par ex, une filière faisant partie d'un système agricole).

L'exposition est liée à des facteurs climatiques. Plus l'exposition est forte (ou, dit autrement, plus les changements climatiques sont importants), plus la vulnérabilité est forte (à capacité d'adaptation constante). L'exposition s'impose au système : il est impossible d'agir sur cette composante, sauf à migrer de la zone (migration des personnes ou des cultures).

La sensibilité et la capacité d'adaptation sont toutes les deux liées à des facteurs physiques autres que les facteurs climatiques (sols, végétations, etc.) et à des facteurs socio-économiques (pauvreté, accès au foncier, etc.). Plus la sensibilité est forte, plus la vulnérabilité est forte. Par contre, plus la capacité d'adaptation est forte, plus la vulnérabilité est faible.

L'**adaptation** consiste soit (i) à renforcer la capacité d'adaptation d'un système, soit (ii) à diminuer sa sensibilité. Tout l'enjeu des études de vulnérabilité est de bien identifier les trois composantes de la vulnérabilité, afin de proposer des actions d'adaptation appropriées pour renforcer la capacité d'adaptation ou diminuer la sensibilité.

Il faut noter que dans son rapport spécial sur les événements extrêmes (IPCC, 2012)<sup>23</sup>, le GIEC a proposé des terminologies et un logigramme alternatifs :

- La composante « Vulnérabilité » y est définie comme « *La propension [du système] à être affecté* » : elle fusionne donc les composantes « Sensibilité » et « Capacité d'adaptation » telles que définies dans (IPCC, 2007) ;
- La composante « Exposition » telle que définie dans (IPCC, 2007) est éclatée en deux composantes : (i) « Exposition », définie comme « *présence de personnes, de moyens de subsistance, de services et de ressources environnementaux, d'infrastructures ou de biens [...] dans des lieux susceptibles d'être affectés* » et correspond donc à la notion de système définie dans (IPCC, 2007) et (ii) « Événements climatiques », lesquels étaient inclus dans la composante « Exposition » telle que définie dans (IPCC, 2007).

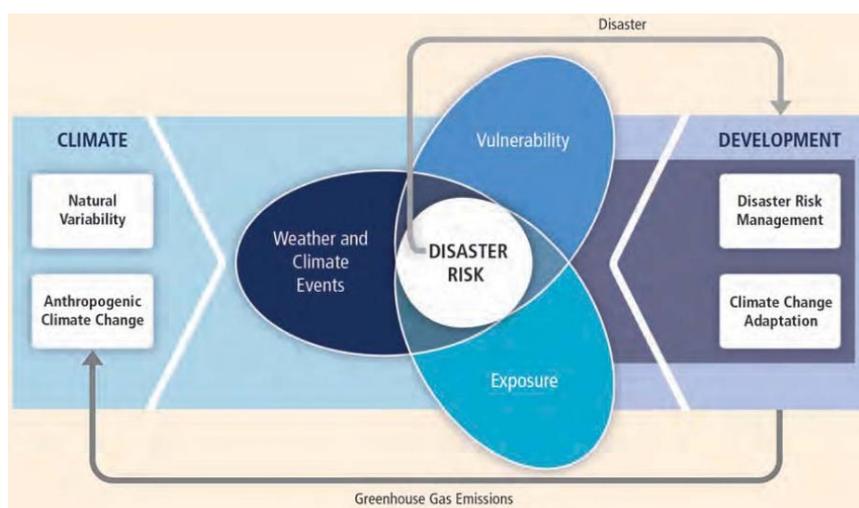


Figure 10 - Logigramme expliquant la genèse des risques climatiques (IPCC, 2012)

<sup>23</sup> IPCC, 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the IPCC* edited by FIELD, C.B., V. BARROS, T.F. STOCKER, D. QIN, D.J. DOKKEN, K.L. EBI, M.D. MASTRANDREA, K.J. MACH, G.-K. PLATTNER, S.K. ALLEN, M. TIGNOR, and P.M. MIDGLEY (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582p

In fine, d'après (IPCC, 2012), la conjonction des composantes affectant le système amène à des risques climatiques, alors que dans (IPCC, 2007), la conjonction des composantes affectant le système amène à une vulnérabilité qui se matérialise par des impacts.

On voit que si la dénomination du résultat final de la chaîne de causalité diffère (risques vs vulnérabilité et impacts), cette chaîne de causalité reste la même dans son essence : on s'intéresse aux facteurs internes au système étudié (sensibilité et capacité d'adaptation selon IPCC, 2007 ; vulnérabilité selon IPCC, 2012) et aux facteurs externes au système (exposition selon IPCC, 2007 ; exposition et événements climatiques selon IPCC, 2012).

Sur le fond, les éléments à analyser restent les mêmes. Sur la forme, la présentation des données d'entrée des chaînes d'impact apparaît beaucoup plus complexe et moins intelligible pour les parties prenantes locales – premières concernées par les analyses et très sollicitées dans les consultations participatives - avec le logigramme défini dans (IPCC, 2012), en attestent notamment les retours de terrain d'une étude d'adaptation à Madagascar utilisant le logigramme (IPCC, 2012) – (SalvaTerra & EGIS, 2022)<sup>24</sup> – versus les retours de terrain de deux études d'adaptation en République dominicaine et en Guinée, en utilisant le logigramme (IPCC, 2007) – (SalvaTerra & EGIS, 2020)<sup>25</sup> (SalvaTerra & EGIS, 2021a)<sup>26</sup>. Cette préférence pour le logigramme (IPCC, 2007) est aussi exprimée dans des documents de référence sur les études de vulnérabilité au CC, telles (GIZ, 2017)<sup>27</sup> ou (Climate Analytics, 2019).

### **2.1.2. Quelles sont les étapes d'une étude de vulnérabilité au CC ?**

---

Une étude de vulnérabilité au CC se déroule généralement en trois grandes étapes, menées en principe de façon participative avec les acteurs locaux, via de multiples allers-retours et concertations de terrain :

- 1. Analyse de la vulnérabilité actuelle :** Cela consiste à décrire les grandes caractéristiques socioéconomiques et naturelles/biophysiques de la zone d'étude ; à identifier les paramètres climatiques auxquels le système étudié est le plus sensible ; à décrire les changements climatiques déjà observés et leurs impacts actuels sur le système étudié, notamment en recueillant les perceptions des acteurs locaux. Il est donc nécessaire de recueillir des données bibliographiques et de terrain auprès des acteurs locaux. Cette 1<sup>ère</sup> étape est décrite dans la **Partie 2.2** ;
- 2. Analyse de la vulnérabilité future :** Lors de la 1<sup>ère</sup> étape, les composantes « exposition », « sensibilité » et « capacité d'adaptation » de la vulnérabilité auront été décrites. Il s'agit alors dans la 2<sup>nd</sup>e étape d'analyser les conséquences d'une augmentation de l'exposition du système au CC - sensibilité et capacité d'adaptation restant égales par ailleurs – afin de construire des scénarios d'impacts. Il est donc nécessaire d'analyser des données de projections climatiques. Cette 2<sup>nd</sup>e étape est décrite dans les **Parties 2.3 et 2.4** ;
- 3. Identification des pratiques d'adaptation :** Cela consiste à analyser les pratiques d'adaptation « endogènes » (déjà connues des acteurs locaux) ; à renforcer ces pratiques endogènes, voire en introduire de nouvelles (pratiques exogènes), en analysant, ex ante,

---

<sup>24</sup> SalvaTerra & EGIS, 2022. Talaky Be - *Adaptation de l'agriculture aux changements climatiques et renforcement de la résilience des communautés rurales du Sud-Est de Madagascar* - Livrable 6. Etude de faisabilité du Projet Talaky Be. 209p

<sup>25</sup> SalvaTerra & EGIS, 2020. *Apoyo al sector Agrícola de la Republica dominicana en un contexto de cambio climático - vulnerabilidad de seis sistemas de producción agrícolas estratégicos*. 200p

<sup>26</sup> SalvaTerra & EGIS, 2021a. Guinée – *Renforcement des capacités des Ministères du développement rural et intégration transversale des enjeux d'adaptation dans les projets et programmes du PNIASAN 2018 – 2025 - Etude de vulnérabilité au changement climatique en Haute Guinée et propositions d'options d'adaptation*. 286p

<sup>27</sup> GIZ, 2017. *The Vulnerability Sourcebook - Concept and guidelines for standardized vulnerability assessments*. 180p

pour chaque pratique son efficacité technique, sa rentabilité financière et son acceptabilité sociale ; à estimer les coûts et modalités de suivi et évaluation. Cette 3<sup>ème</sup> étape est décrite dans les **Parties 3.1 à 3.4.**

### **2.1.3. Quels sont les enjeux à considérer de façon transversale lors de l'étude ?**

- **S'intégrer dans le cadre politique** : Il est nécessaire d'analyser au préalable les documents de politique utiles (politique agricole, CDN et PNA dans tous les cas, mais aussi – selon les pays et zones ciblés – d'autres documents spécifiques : Schéma directeur de l'irrigation, Plan d'aménagement du territoire, etc.) et d'impliquer les cadres des services centraux et décentralisés concernés (services de l'agriculture, de l'environnement, etc.) ;
- **Bien prendre en compte les spécificités de genre** : Il est utile d'apprécier la position du pays et les enjeux propres au pays ciblé en termes d'inégalité de genre, en se référant par exemple à l'Indice des institutions sociales et du genre (*Social Institutions and Gender Index* - SIGI)<sup>28</sup>. Les défis dans le secteur agricole sont généralement importants et les femmes y sont souvent marginalisées, avec par exemple : accès limité au foncier ; travail en priorité sur les parcelles du mari ; accès difficile aux équipements de production ; peu de représentativité dans les organisations professionnelles agricoles ; etc. Il faut donc identifier leurs spécificités en termes de sensibilité et capacité d'adaptation ;
- **Éviter la « maladaptation »** : La maladaptation désigne « *un changement dans les systèmes naturels ou humains qui conduit de manière non intentionnée à augmenter la vulnérabilité au lieu de la réduire et/ou à altérer les capacités actuelles et futures d'adaptation* » (IPCC, 2007). Pour éviter cela, le respect de certains principes s'impose, tels qu'éviter les actions engendrant une dégradation des ressources naturelles, favoriser la réduction des inégalités socio-économiques et soutenir la diversification des activités et revenus (MAGNAN, 2013)<sup>29</sup> ;
- **Planifier l'adaptation en tenant compte des incertitudes et en révisant périodiquement les actions** : Les projections climatiques sont généralement entachées d'incertitudes, mais cela ne doit pas inhiber la planification d'actions d'adaptation.

Il est ainsi possible d'identifier des actions « sans regret » (valables quels que soient les scénarios, optimistes ou pessimistes) ; réversibles et flexibles (faciles à modifier, voire stopper, si les conditions futures diffèrent de ce qui était envisagé) ; incluant des « marges de sécurité » (actions qui restent pertinentes, même si les conditions climatiques s'aggravent encore plus que prévu) (HALLEGATTE, 2009)<sup>30</sup>.

En corollaire, il est opportun de planifier l'adaptation sur des horizons plus courts (*Ibid*) ou de définir des trajectoires d'adaptation sur le moyen et long terme, puis de réévaluer périodiquement leur pertinence (HAASNOOT et al, 2013)<sup>31</sup> en fonction de l'évolution observée du climat et des nouvelles projections du climat futur.

- **Identifier et prendre en compte des enjeux transversaux**, l'étude de vulnérabilité d'un projet de riziculture irriguées devant s'inscrire dans une approche holistique et multi-échelle. Ces enjeux doivent être identifiés de façon ad hoc, dans le contexte spécifique du projet.

---

<sup>28</sup> <https://www.oecd.org/stories/gender/social-norms-and-gender-discrimination/sigi>

<sup>29</sup> MAGNAN, 2013. *Éviter la maladaptation au changement climatique*. Paris - IDDRI, 4p

<sup>30</sup> HALLEGATTE, 2009. *Strategies to adapt to uncertain Climate Change*. Global Environment Change. pp240-247

<sup>31</sup> HAASNOOT, 2012. *Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world*. Global Environment Change. pp485-498

Ci-dessous, on peut noter quelques enjeux transversaux à votre illustratif, et les questions à se poser à leur sujet :

- Gestion intégrée des ressources en eau : La demande en eau du projet est-elle en adéquation avec les ressources disponibles ou risque-t-elle de mener à des conflits amont/aval ? Même si le projet cible en priorité la riziculture irriguée, les paysans ont également des cultures pluviales : des options d'adaptation sont-elles proposées pour ces dernières, pour faire face notamment à l'irrégularité des pluies dans le temps et l'espace ?
- Dynamiques foncières : Le projet va-t-il s'inscrire dans les dynamiques de sécurisation foncière engagées au niveau national ? La mise en valeur de zones de bas-fonds risquant de susciter des convoitises, le renforcement des instances de régulation foncière locale (du type comité foncier villageois) sont-elles prévues ?
- Trajectoire bas carbone : Les impacts GES des options d'adaptation proposées ont-elles été évaluées en faisant un bilan GES ? L'impact GES global du projet est-il aligné avec l'objectif d'atténuation fixé au niveau national ?

## 2.2. Pourquoi et comment collecter des données bibliographiques et de terrain ?

---

### 2.2.1. Pourquoi collecter des données bibliographiques et de terrain ?

---

Dans de nombreux pays en développement, les données sur l'agriculture en général et la riziculture irriguée en particulier sont obsolètes et/ou incomplètes, qu'il s'agisse de données statistiques révisées annuellement, d'analyses plus approfondies réalisées à intervalle de temps plus long, de cartes thématiques, etc.

Cela étant dit, même quand des données statistiques ou cartographiques sont disponibles, il est toujours utile et même parfois nécessaire de les affiner et de les vérifier avec des données bibliographiques et de terrain, afin de mener la 1<sup>ère</sup> des trois étapes de l'étude de vulnérabilité, à savoir analyser la vulnérabilité actuelle du système étudié.

### 2.2.2. Analyse bibliographique des grandes caractéristiques naturelles et socioéconomiques

---

Les grandes caractéristiques naturelles d'intérêt sont les suivantes :

- **Climat actuel** : On peut le décrire en indiquant les données suivantes : température moyenne / minimale / maximale (°C), précipitations (mm/mois), humidité (%), jours de pluie (jour/mois), ensoleillement (heures/mois). Les données du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* - ECMWFF) sont disponibles mois par mois pour la période 1991-2021, suivant une grille de 30 km, et accessibles au format complet (séries de données historiques au format Excel) sur le site de l'ECMWFF<sup>32</sup>, mais aussi sous forme de tableaux de synthèse sur le site Climate Data<sup>33</sup>. Les données CHIRPS<sup>34</sup> sont quant à elles disponibles par décennie depuis les années 1980 et selon une grille de 5,57 km (0,05°) ;
- **Topographie et réseau hydrographique** : Il est utile de rechercher et d'analyser les cartes topographiques et hydrographiques ou apparentés (cartes des bassins versants ; des plaines et bas-fonds aménageables ; etc.), afin de déterminer si la zone d'étude est naturellement propice ou non à la riziculture irriguée ;
- **Sols** : Il existe généralement des cartes pédologiques à échelle nationale, certes parfois datées, mais aussi parfois des cartes détaillées au niveau local. Ces cartes permettent de distinguer les sols selon leur profondeur, leur texture (proportion d'argiles / limons / sables / graviers), leur hydromorphie (niveau de saturation en eau), leur niveau de matière organique (MO), etc. Elle est utile pour estimer :
  - La fertilité : Il y a des relations entre matière organique, teneur en argiles et limons, et stabilité du sol (BOZZA, 2009)<sup>35</sup> ; entre matière organique, Capacité d'échange cationique (CEC) et pH (GUIBERT, 1999)<sup>36</sup> ;

---

<sup>32</sup> <https://www.ecmwf.int/>

<sup>33</sup> <https://fr.climate-data.org/afrique/guinee/region-de-kankan-1300/r/ao%c3%bbt-8/>

<sup>34</sup> <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>

<sup>35</sup> BOZZA, 2009. *Maintien de la fertilité des sols en zone de savanes par l'utilisation de la jachère améliorée : essais en station à Bébédjia, Institut tchadien de recherche agronomique pour le développement (ITRAD)*. 21p

<sup>36</sup> GUIBERT, 1999. *Evolution de la matière organique et de la capacité d'échange cationique des alfisols tropicaux cultivés. Thèse de doctorat*. Nancy – Institut national polytechnique de Lorraine (INPL), 203p

- La capacité de rétention en eau (aussi appelé Réserve facilement utilisable en eau – RFU) : on peut l'estimer assez simplement en se basant sur le pourcentage d'argiles et de sables du sol<sup>37</sup>.

- **Occupation des sols / végétation** : Il existe diverses sources de données en la matière. Une des plus connues est le site de Surveillance mondiale des forêts (*Global Forest Watch* – GFW), qui permet d'accéder directement à des données d'occupation des sols (terres agricoles, prairies, forêts, zones humides, etc.) et de changement d'occupation des sols (déforestation, expansion des cultures, etc.)<sup>38</sup>.

Les grandes caractéristiques socio-économiques d'intérêt sont les suivantes :

- **Origine de la population** : Cet aspect peut avoir son importance pour différencier des systèmes agraires, des zones de conflits (notamment foncier) potentiels, etc. Par exemple, dans le cas de l'étude de vulnérabilité de l'agriculture en Haute Guinée (SalvaTerra & EGIS, 2021a), des données - certes anciennes, mais toujours valables - ont été utiles pour identifier les principales ethnies occupant la zone d'étude (SURET-CANALE, 1970)<sup>39</sup> ;
- **Caractéristiques démographiques** : Les données de recensement général de la population permettent d'apprécier l'état actuel de la population de la zone d'étude (densité, répartition par âge, taille des ménages, analphabétisme, etc.) et son évolution probable à court ou moyen terme, ce qui permet d'estimer l'évolution de la pression anthropique sur les ressources naturelles.
- **Organisation sociale et administrative** : Il n'y a pas de sources de données « standard » pour analyser ces questions, car elles dépendent fortement du pays et du contexte local de la zone d'étude. Le plus efficace est donc d'identifier quelques rapports d'études locales (du type diagnostic agricole) et d'en extraire les points clefs : organisation coutumière des populations (par ex, dans les pays subsahariens : chefferies coutumières, clans/lignages, confréries, familles et grandes familles, etc.), relations des autorités traditionnelles avec les autorités déconcentrées et les services décentralisés, etc. ;
- **Principales activités rurales** : Là aussi, il n'y a pas de source de données standard, il faut identifier et s'appuyer sur des rapports d'études locales. Il s'agit de décrire les grands traits des principales productions végétales (vivrières et de rente / annuelles et pérennes), des principales productions animales, ainsi que les autres activités rurales : pêche, collecte de produits forestiers non ligneux (PFNL), etc. Pour les productions végétales, qui prédominent souvent, il est utile de décrire de façon synthétique la façon dont sont mobilisés les facteurs de production : foncier, main d'œuvre, capital, équipements, intrants (engrais, pesticides, semences, etc.). Cette description doit être détaillée aussi finement que possible pour la riziculture, si elle est l'objet central de l'étude de vulnérabilité ;
- **Etat de la pauvreté et de l'insécurité alimentaire** : Il existe généralement des données sur ces deux dimensions dans le pays, au niveau de l'Institut national des statistiques ou du Ministère du plan (ou autre entité apparentée), ou à défaut au niveau des organisations des Nations Unies (Programme des Nations-Unis pour le développement – PNUD, Programme alimentaire mondial – PAM) ou autre<sup>40</sup> ;
- **Enjeux spécifiques au genre** : Là aussi, il n'y a pas de source de données standard, il faut s'appuyer sur des rapports d'études locales. Il s'agit de décrire les inégalités de genre,

---

<sup>37</sup> <https://www.naio-technologies.com/irrigation-determinez-besoins-eau-cultures-stocks-deau-disponibles/>

<sup>38</sup> <https://www.globalforestwatch.org/>

<sup>39</sup> SURET-CANALE, 1970. *La République de Guinée. Article paru dans L'Homme et la société n°17*. Paris, Éditions sociales, pp329-330

<sup>40</sup> <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/explore-countries>

d'un point de vue général (accès à l'éducation, droit en cas de divorce, d'héritage, etc.) et dans le cadre des activités agricole en général et rizicoles en particulier (accès au foncier, aux équipements, partage des tâches, etc.).

### **2.2.3. Affiner l'analyse du système par des enquêtes terrain**

Dans la plupart des cas, l'échelon de la production concentre souvent l'essentiel des enjeux des filières agricoles. C'est notamment le cas des filières riz irriguée dans de nombreux pays d'intervention de l'AFD (exception faite des systèmes intensifs, fortement consommateurs d'intrants et de services, et ouverts vers le marché international...systèmes qui sont plus l'exception que la règle) :

- (i) à l'amont, la fourniture en intrants et services est souvent limitée : semences produites en milieu paysan ; intrants chimiques vendus par des commerçants locaux ; mécanisation limitée ; peu de crédit formel et recours au crédit informel avec des proches ou des commerçants ; conseil/vulgarisation agricole très limité, etc. ;
- (ii) à l'aval, l'autoconsommation des productions est importante et la commercialisation des surplus se fait souvent au niveau des villages ou villes des environs.

L'essentiel des activités se déroule souvent au niveau des « Unités de Production » (UP) familiales, ensemble de personnes mettant en commun leurs ressources et partageant leurs productions. Une UP peut être de taille réduite et être pilotée par un jeune chef de famille ou une femme veuve ; parfois être de grande taille, regrouper divers ménages et être pilotée par le patriarche d'une « grande famille » (cas fréquent en Afrique subsaharienne). Il est donc généralement judicieux de concentrer l'effort de collecte d'information sur les UP, puis de trianguler/confirmer les analyses avec des personnes-ressources (services techniques déconcentrés - STD, élus communaux, commerçants, etc.).

La durée d'interview ne devrait pas excéder 1h30 / 2h. Pour avoir un bon aperçu des réalités, interviewer 25 à 30 UP est généralement suffisant, en veillant – avec l'aide de personnes-ressources locales (STD, élus, coutumiers, etc.) – à ce que l'échantillon soit diversifié (UP considérées comme petites / moyennes / grandes, avec niveau de vie élevé / moyen / bas) et réparti dans les diverses zones d'aptitudes agronomiques pré-identifiées (par ex, bonne avec sols riches et eau continuellement disponible ; moyenne avec sols moins riches et/ou eau temporairement disponible ; etc.).

Le questionnaire vise à identifier, caractériser et quantifier (dans la mesure du possible) les aspects-clefs suivants :

- **Profil des UP** : composition des UP, sources de revenus agricoles et non-agricoles, répartition actifs/dépendants, etc. ;
- **Facteurs de production disponibles** : foncier (nombre de parcelles, surfaces, types de droits fonciers, niveau de sécurisation, etc.) ; main d'œuvre (et répartition homme/femmes dans les activités) ; outils ; mécanisation ; capital (propre et éventuels prêts) ; capacités techniques (appuis par des OPA, techniciens, etc.) ;
- **Dynamiques générales de production agropastorale** : productions végétales : gestion de l'eau, de la fertilité des sols, des adventices, des pestes/ravageurs, etc. ; productions végétales : alimentation des animaux, prophylaxie, gardiennage, etc. ; stratégies d'autoconsommation vs commercialisation ; perspectives à court/long terme ; etc.
- **Focus sur les pratiques de production rizicoles** : semences utilisées (durée du cycle, rendement potentiel, sensibilité à la verse, aux maladies, etc.) ; autres intrants utilisés (engrais chimiques, matière organique, herbicides, insecticides, etc.) ; équipements utilisés (pour le labour/préparation du sol, la récolte, le battage-vannage, etc.) ; étapes et temps de

Riziculture irriguée et changement climatique - Approfondissements méthodologiques pour la finance climat et la contribution aux trajectoires long terme AFOLU bas carbone et résiliente – L 2.1 : Indications pour mener les analyses relatives à l'adaptation au changement climatique d'un projet de riziculture irriguée

travaux ; répartition des rôles/responsabilités homme/femme dans les travaux ; rendements/volumes de production ; évolution de la production ; etc.

- **Perceptions de l'exposition et des impacts des CC** : exposition et impacts perçus (par le passé et actuellement), compréhension des paysan(ne)s de ces impacts et éventuelles options d'adaptation endogènes déjà en place.

Les données recueillies peuvent ensuite être encodées dans Excel et traitées de façon simple :

- Qualification des données/pratiques en faisant des tris pour les questions fermées ;
- Qualification des données/pratiques en faisant des analyses sémantiques (regroupement des mêmes occurrences de mots) pour les questions ouvertes ;
- Quantification des données technico-économiques en faisant des calculs simples, par ex : moyenne ; minimum ; maximum ; coefficient de variation = écart-type / moyenne, pour estimer la dispersion des données.

## 2.3. Pourquoi et comment collecter des données de projections ?

### 2.3.1. Qu'est-ce qu'une projection climatique et à quoi cela sert pour une étude de vulnérabilité ?

Dans ses rapports d'analyse sur le climat, le GIEC présente des scénarios climatiques globaux, allant du plus optimiste (mise en œuvre de mesures fortes d'atténuation) au plus pessimiste (pas de nouvelles mesures d'atténuation) : que risque-t-il de se passer d'ici 2030 / 2050 / 2100 si l'humanité atteint un certain niveau d'émissions de GES et donc une certaine hausse de température moyenne mondiale ?

Le 6<sup>ème</sup> rapport d'analyse du GIEC (IPCC, 2021) présente neuf scénarios ou « *Voies socio-économiques partagées* » (*Shared Socio-economic Pathways – SSP*).

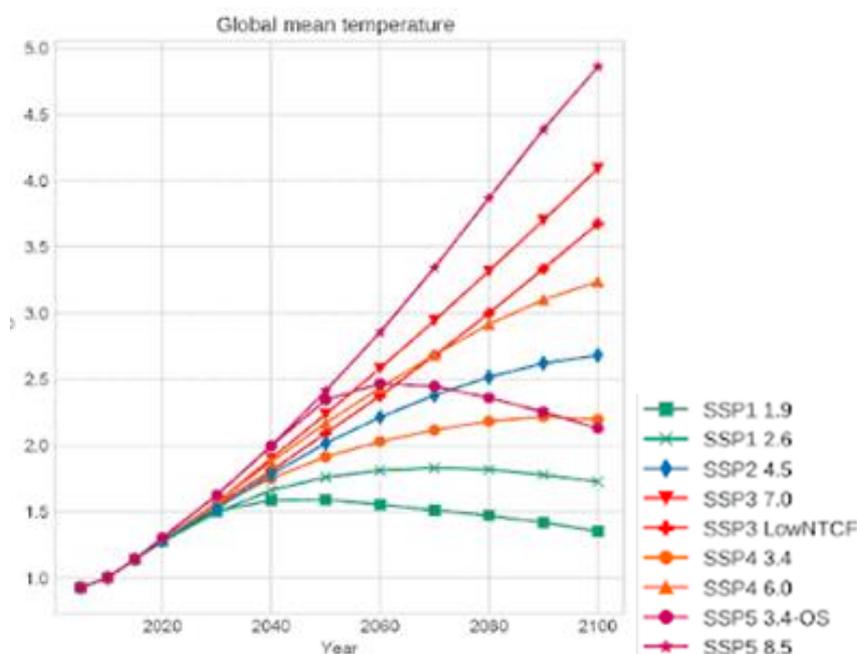


Figure 11 - Projections climatiques selon les scénarios du 6<sup>ème</sup> rapport d'analyse sur le climat (IPCC, 2021)

Il est encore trop tôt pour utiliser les scénarios SSP car les modèles actuels n'ont pas encore fourni de projections climatiques grand public basées sur les SSP. Par contre, il est possible d'utiliser ceux du 5<sup>ème</sup> rapport d'analyse (IPCC, 2013), dénommés « *Profils d'évolution des concentrations de GES* » (*Representative Concentration Pathways – RCP*).

Parmi les scénarios RCP du 5<sup>ème</sup> rapport d'analyse du GIEC, le RCP8.5 (qui correspond peu ou prou au SSP8.5 présenté dans le 6<sup>ème</sup> rapport d'analyse du GIEC) est le plus pessimiste (pas de nouvelles mesures d'atténuation prises à l'avenir, en plus de celles déjà existantes) et génère le pire des scénarios (une hausse des températures globales de +2,6°C à +4,8°C environ en 2100 par rapport aux niveaux préindustriels).

Il paraît être le plus utile pour une étude de vulnérabilité future, car l'insuffisance des efforts de réduction d'émissions de GES nous placent de facto sur une mauvaise trajectoire (entre +2,6°C et +2,9°C d'ici 2100 en l'état actuel des politiques mises en œuvre<sup>41</sup>) et car il est préférable de se préparer au pire. Afin d'affiner l'analyse et de disposer d'une plage d'évolution possible du climat, le scénario RCP8.5 peut être doublé du RCP4.5 (SSP2-4.5 dans le 6<sup>ème</sup> rapport d'analyse du GIEC), qui prévoit entre +1,1°C et +2,6°C d'ici 2100.

Sur la base de ces scénarios climatiques globaux, des modèles informatiques sont utilisés pour fournir des projections climatiques sur différentes variables climatiques (température, pluviométrie, etc.) de façon spatialisée, les CC n'étant pas uniformes à la surface du globe.

Ces projections issues de modèles sont des estimations de ce qui pourraient se passer et sont entachées d'incertitudes, car les modèles combinent de très nombreuses hypothèses et données. L'intérêt de ces projections climatiques n'est donc pas de décrire avec certitude le climat que nous subirons en 2050 ou 2100 ... mais d'estimer les conséquences possibles de tel ou tel scénario climatique sur l'exposition d'un système donné au CC, et donc d'estimer une fourchette d'aggravation de sa vulnérabilité à l'avenir (par rapport à sa vulnérabilité actuelle).

### **2.3.2. Quelles données de projections climatiques utiliser ?**

---

De nombreux sites proposent des projections climatiques : portail d'information climatique de l'Université de Cape Town (*Climate Information Portal – CIP*)<sup>42</sup>, portail de connaissances sur le changement climatique de la Banque mondiale (*Climate Change Knowledge Portal – CCKP*)<sup>43</sup>, Institut suédois de météorologie et d'hydrologie (*Swedish Meteorological and Hydrological Institute - SMHI*)<sup>44</sup>, etc. Certains sites vont même plus loin et proposent des projections des impacts climatiques sur certains secteurs : Projet d'inter-comparaison des modèles d'impacts intersectoriels (*Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project – ISIMIP*)<sup>45</sup>, Centre de service scientifique ouest-africain sur le changement climatique et l'utilisation adaptée des terres (*West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use – WASCAL*)<sup>46</sup>,

Parmi les sites proposant des projections, celui du SMHI semble le plus intéressant :

- Il présente des données issues de 35 modèles climatiques globaux du Projet d'inter-comparaison de modèles couplés - Phase 5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 - CMIP5*)<sup>47</sup>. Ces jeux de données peuvent être combinés ensemble, ce qui fournit des projections plus robustes que si elles sont issues d'un seul modèle ;
- Les données sont par ailleurs disponibles avec correction de biais et à échelle assez fine (grille de données de 50 km x 50 km. Format dit CORDEX : *Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment* / Expérience régionale coordonnée de réduction d'échelle du climat). Ces deux traitements permettent d'obtenir des projections plus robustes (limitation des erreurs systématiques sur les moyennes et meilleure représentativité des valeurs extrêmes) ;

---

<sup>41</sup> <https://climateactiontracker.org/global/temperatures/>

<sup>42</sup> <https://cip.csag.uct.ac.za/webclient2/app/#datasets>

<sup>43</sup> <https://climateknowledgeportal.worldbank.org>

<sup>44</sup> <https://climateinformation.org/dap>

<sup>45</sup> <https://www.isimip.org/>

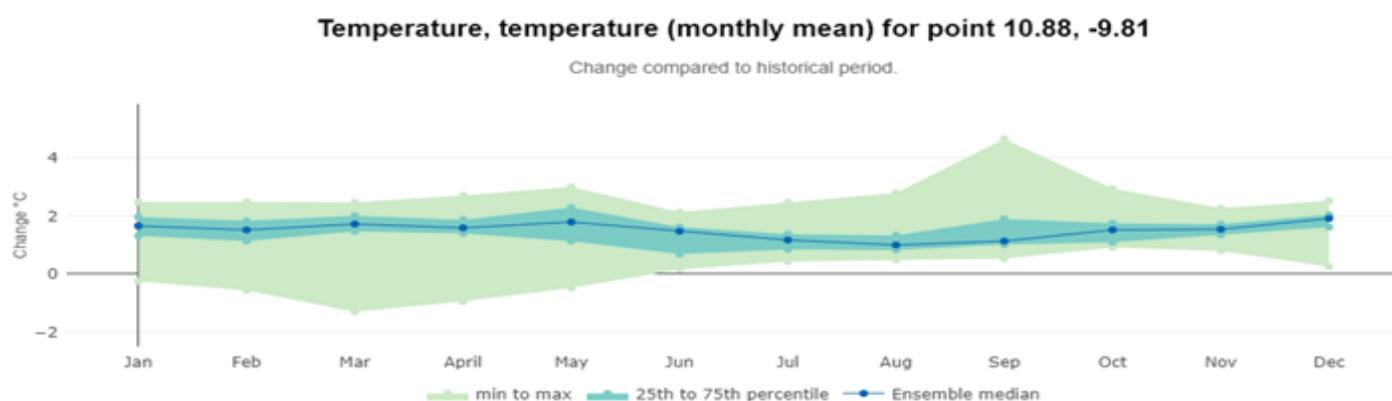
<sup>46</sup> <https://wascal.org>

<sup>47</sup> <https://www.wcrp-climate.org>

- Sa base de données est relativement simple d'usage par rapport aux autres sites, et permet d'exporter des données sous forme de tableaux de données ou d'images.

A titre illustratif, on présente ci-après une projection SMHI de la hausse de température moyenne mensuelle pour la région de Kankan, utilisée dans l'étude (SalvaTerra & EGIS, 2021a). Les hypothèses sont les suivantes : moyenne des modèles CMIP5 (« *ensemble median* ») ; correction de biais ; descente d'échelle sur la région Afrique ; période de référence 1981-2010 ; période projetée 2011-2040 (soit horizon moyen 2025) ; scénario RCP8.5.

La dispersion des données paraît limitée. Ainsi, si on considère le mois d'août (mois où toutes les cultures, notamment le riz, sont en pleine croissance et où il est crucial d'avoir une bonne idée de la température moyenne), la hausse de température moyenne est estimée à +1,02°C, avec +1,22°C pour le 75<sup>ème</sup> percentile et +0,78°C pour le 25<sup>ème</sup> percentile (autrement dit, il y a 50% de chance que la hausse moyenne soit comprise entre +0,78°C et +1,22°C).



**Figure 12 - Hausse de température moyenne mensuelle sur Kankan (RCP8.5. 2011-2040 vs 1981-2010) (SMHI, 2023)**

Parmi les 20 variables disponibles, sept paraissent les plus utiles pour analyser les impacts du CC sur les activités agricoles : températures moyenne / températures maximales / précipitations / plus longues sécheresses (nombre maximum de jours secs consécutifs) / pauses sèches (nombre de périodes de plus de cinq jours secs) / aridité potentielle (rapport de l'évapotranspiration sur les précipitations) / crues décennales (crue importante et qui a une chance sur dix de se produire chaque année).

Pour illustration, nous avons inclus ci-après une synthèse des projections d'augmentation d'occurrence des crues décennales, en gardant l'exemple de Kankan et les mêmes hypothèses sur les projections, si ce n'est l'ajout d'une seconde période projetée 2041-2070 (soit horizon moyen 2055) :

- 2025 : hausse limitée (médiane\* : +13,4%). Dispersion limitée des estimations (+21,7% pour 75<sup>ème</sup> percentile et +5,8% pour 25<sup>ème</sup> percentile) ;
- 2055 : hausse importante (médiane : +30,1%). Dispersion limitée des estimations (+49,4% pour 75<sup>ème</sup> percentile et +17,4% pour 25<sup>ème</sup> percentile).

\* NB : Il est préférable d'analyser la médiane plutôt que la moyenne [médiane = valeur partageant un ensemble d'éléments d'un échantillon en deux ensembles égaux ; moyenne = somme totale des valeurs d'un échantillon, divisée par le nombre d'éléments dans l'échantillon]. La médiane est moins sensible aux valeurs aberrantes et plus adéquate pour l'analyse d'un échantillon asymétrique, deux caractéristiques des projections climatiques<sup>48</sup>.

<sup>48</sup> <https://www.clinfo.eu/mean-median/>

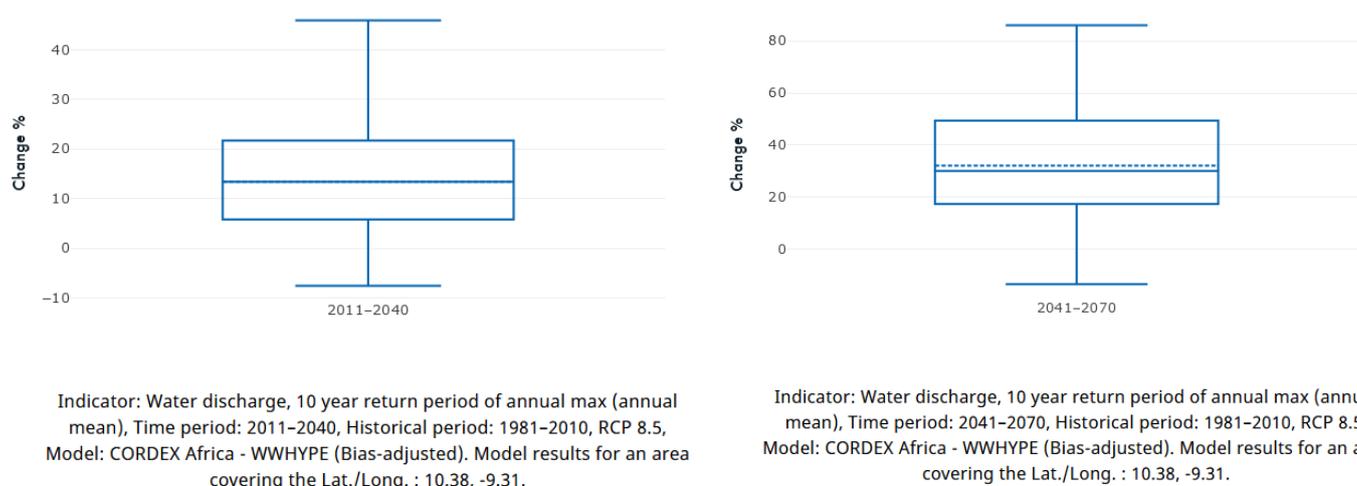


Figure 13 - Hausse des crues décennales sur Kankan (RCP8.5. 2011-2040 et 2041-2070 vs 1981-2010) (SMHI, 2023)

## 2.4. Comment présenter une chaîne d'impacts climatiques ?

### 2.4.1. Comment présenter une chaîne d'impacts climatiques ?

Les UP étant souvent les principaux acteurs de la filière riz, tant en termes d'importance qu'en termes de nombre, il est utile de les placer au centre de l'analyse et de considérer que le système étudié (pour reprendre la terminologie du GIEC) est l'UP. Cela étant précisé, une chaîne d'impacts climatiques est constituée de quatre éléments :

- **Sensibilité** : Conséquence de facteurs naturels non climatiques ou de facteurs socioéconomiques donnés, c'est la 1<sup>ère</sup> composante de la vulnérabilité. Les acteurs locaux peuvent avoir prise sur elle : ils peuvent la réduire. Elle est présentée en rouge sur la chaîne d'impacts, car plus la sensibilité augmente, plus la vulnérabilité augmente. Sont signalés par des étoiles rouges certains publics (F = femmes, J = jeunes) a priori plus sensibles ;
- **Capacité d'adaptation** : 2<sup>nde</sup> composante de la vulnérabilité, elle est aussi la conséquence de facteurs naturels non climatiques ou de facteurs socioéconomiques donnés et les acteurs peuvent aussi avoir prise sur elle. Elle est présentée en vert sur la chaîne d'impacts, car plus la capacité d'adaptation augmente, plus la vulnérabilité diminue ;
- **Exposition** : 3<sup>ème</sup> composante de la vulnérabilité, elle est la conséquence de facteurs climatiques et elle s'impose au système étudié : la seule option pour agir sur cette composante est la migration des personnes ou des cultures. Elle est présentée en bleu sur la chaîne d'impacts. Plus l'exposition augmente, plus la vulnérabilité augmente
- **Vulnérabilité** : C'est la résultante des trois composantes. On peut la présenter en détaillant les impacts liés à cette vulnérabilité, en mettant en évidence les éventuels impacts additionnels / spécifiques pour certains groupes d'acteurs (par ex, femmes et jeunes).

Une chaîne d'impacts est donc un moyen assez simple de représenter les relations de causes à effet entre les composantes de la vulnérabilité, ce qui est utile car c'est bien la compréhension de ces relations qui est au centre des analyses de vulnérabilité.

### 2.4.2. Elaboration d'une chaîne d'impacts. Exemple en Guinée

In fine, après traitement de toutes les données, il est possible d'identifier les principaux facteurs de sensibilité des UP (1<sup>ère</sup> composante de la vulnérabilité : sensibilité) et, pour chaque facteur

de sensibilité, les paramètres climatiques qui aggravent cette vulnérabilité (2<sup>nd</sup>e composante de la vulnérabilité : exposition) et les paramètres naturels (non-climatiques) ou socioéconomiques qui atténuent cette vulnérabilité (3<sup>ème</sup> composante de la vulnérabilité : capacité d'adaptation).

Lors de l'étude de vulnérabilité, on distingue autant de chaînes d'impacts que de facteurs clés de sensibilité. A titre illustratif, on présente ci-après une chaîne d'impacts dans la filière riz de Haute Guinée, relative à la baisse de fertilité des sols et à la hausse de l'enherbement et élaborés en concertation avec les acteurs locaux consultés (SalvaTerra & EGIS, 2021a) :



Figure 14 - Chaîne d'impacts relatifs à la sensibilité de la riziculture à la baisse de fertilité des sols et à la hausse de l'enherbement (auteurs, 2021)

On peut faire les commentaires suivants sur cette chaîne d'impacts :

- **Exposition** : Deux paramètres climatiques sont ici identifiés comme importants : aridité potentielle (rapport de l'évapotranspiration sur les précipitations) et pauses sèches (nombre de périodes de plus de 5 jours secs en continu). Les projections du SMHI sur l'aridité potentielle cadrent bien avec les perceptions des UP (recueillies par enquête), raison pour laquelle on a indiqué « (SMHI / UP) » après ce paramètre. C'est moins vrai pour la hausse de l'occurrence et de la durée des pauses sèches : elles semblent d'avantage ressenties par les UP que ce qu'il ressort des valeurs médianes des projections du SMHI. Ceci n'est pas incohérent, car les projections du SMHI sur ces variables présentent des écarts notables. Dans ce cadre, il a paru prudent de considérer les perceptions des UP sur le paramètre pauses sèches.
- **Sensibilité** : Dans le contexte actuel où le maintien de la fertilité des sols et le contrôle de l'enherbement sont conditionnés à l'apport d'intrants chimiques, les UP pilotées par des femmes isolées ou par de jeunes hommes ont une sensibilité accrue, étant donné leur moindre niveau de capital et de capacité d'investissement.
- **Capacité d'adaptation** : L'apport massif d'intrants chimiques est vu par la plupart des UP comme la seule solution. Les pratiques agroécologiques, qu'elles soient innovantes (rotations sur base de légumineuses, apport de matière organique, etc.) ou traditionnelles mais tombées en désuétude (jachère), sont très marginalement mises en œuvre.
- **Vulnérabilité** : Toutes les UP sont sujettes à l'impact final qui est la baisse de la production de riz. Les UP pilotées par des femmes isolées ou par de jeunes hommes sont plus vulnérables, étant donné leur moindre niveau de capital et de capacité d'investissement (engrais, fumier, herbicides, prestations de désherbage manuel, etc.).

### 2.4.3. Difficulté de quantifier et spatialiser une chaîne d'impacts. Exemple en Rép. dominicaine

Il est tentant d'essayer de quantifier et spatialiser une chaîne d'impacts climatiques. Cependant, ceci se heurte à plusieurs écueils méthodologiques et pratiques.

#### → Qualification, quantification et spatialisation de la vulnérabilité actuelle

La vulnérabilité actuelle est le produit de la sensibilité aux conditions climatiques actuelles et de la capacité d'adaptation à ces mêmes conditions climatiques. La qualification et la quantification de la vulnérabilité actuelle suppose donc de pouvoir qualifier et quantifier les deux paramètres précités, sensibilité et capacité d'adaptation, et donc de pouvoir qualifier et quantifier les paramètres sous-jacents explicatifs de ces deux paramètres.

En la matière, il n'existe pas de méthode ou formule standard, car les paramètres sous-jacents explicatifs potentiels sont innombrables et les corrélations entre des paramètres sous-jacents et les paramètres sensibilité et capacité d'adaptation sont la plupart du temps subjectives. La moins mauvaise des approches semble être de questionner les acteurs locaux et de leur demander de citer (« à dire d'acteurs » donc) les paramètres sous-jacents qui leur semble corrélés avec les paramètres sensibilité et capacité d'adaptation.

Une fois les paramètres sous-jacents potentiels cités à dire d'acteurs, il faut s'assurer que des statistiques actualisées et spatialisées sont disponibles et intégrables dans un système d'information géographique (SIG)...ce qui est un second écueil, car les statistiques publiques sont souvent lacunaires et/ou obsolètes, voire absentes, dans nombre de pays en développement, y compris pour des paramètres essentiels tels que la densité de population, les surfaces et les rendements par culture, etc.

Dans le cas de l'étude de vulnérabilité de la riziculture irriguée en République dominicaine (SalvaTerra & EGIS, 2020), les acteurs locaux ont été questionnés et on fournit une longue liste de paramètres sous-jacents aux paramètres sensibilité et capacité d'adaptation. Des recherches ont ensuite été menées pour identifier les bases de données statistiques et spatialisées disponibles pour ces paramètres sous-jacents.

Ceci a conduit à exclure un bon nombre de paramètres sous-jacents et à n'en garder que quelques-uns : par ex, pour le paramètre sensibilité, trois paramètres sous-jacents ont été considérés : indice de désertification ; niveau d'étude du chef d'exploitation ; niveau de revenu des ménages agricoles. Les trois paramètres sous-jacents ont ensuite été combinés (sans pondération, aucun élément objectif ne permettant de leur donner des poids distincts) puis introduits dans le SIG pour donner une carte de sensibilité.

Les mêmes traitements ont ensuite été faits pour le paramètre capacité d'adaptation (avec d'autres paramètres sous-jacents ad hoc). Enfin, les paramètres de sensibilité et de capacité d'adaptation ont été combinés (toujours sans pondération) afin de donner une carte de vulnérabilité actuelle.

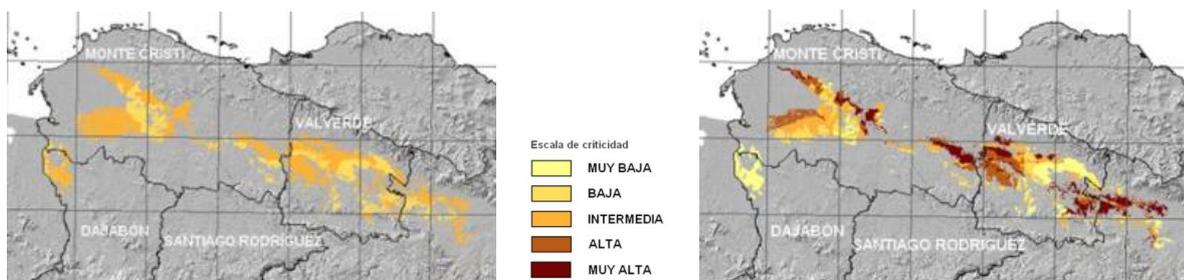


Figure 15 - Cartes de sensibilité (à g.) et de vulnérabilité actuelle sur la filière riz au Nord de la Rép. Dominicaine (SalvaTerra & EGIS, 2020)

## → Qualification, quantification et spatialisation de la vulnérabilité future

La vulnérabilité future est le produit de la sensibilité aux conditions climatiques futures, de la capacité d'adaptation à ces mêmes conditions climatiques futures et de l'exposition aux conditions climatiques futures.

Faire des projections de la sensibilité ou de la capacité d'adaptation à court terme (2030 par ex) ou moyen terme (2050 par ex) est délicat, car les projections des paramètres sous-jacents n'existent pas généralement, que ce soit (pour prendre comme ex deux des trois paramètres sous-jacents précités) des paramètres socio-économiques - par ex, niveau de revenu des ménages - ou des paramètres naturels - par ex, indice de désertification. Faute de mieux, on ne peut généralement que projeter le paramètre exposition et considérer des projections climatiques, toutes choses restant égales par ailleurs (*ceteris paribus*).

Maintenant, pour un paramètre climatique donné (par ex, précipitations mensuelles), les projections climatiques elles-mêmes se présentent sous forme de multiples jeux de données (résultant de x modèles et y scénarios), chaque jeu de donnée étant lui-même entaché d'une incertitude, parfois importante (Cf. **Partie 2.3**). Même en se restreignant à un modèle (ou ensemble de modèles) donné et à un scénario donné, si on combine plusieurs paramètres climatiques d'importance pour une culture donnée (par ex, dans le cas de la riziculture irriguée : précipitations mensuelles, températures moyennes et maximales mensuelles, fréquences et durées des pauses sèches, etc.), on combine les incertitudes rattachées à chaque paramètre, ce qui amène à une incertitude totale potentiellement énorme (NB : l'incertitude relative sur un produit est la somme des incertitudes relatives de chaque terme).

A moins de disposer et de savoir utiliser un modèle de croissance du riz calibré pour des conditions agro-climatiques et pédologiques spécifiques [tel le modèle de croissance du riz irrigué OryzaS<sup>49</sup>, qui simule le rendement potentiel du riz irrigué en conditions climatiques sahéliennes (LI et al., 2017)<sup>50</sup>], deux conditions a priori difficiles à réunir sauf pour des centres de recherche agronomique, il paraît difficile voire impossible de chercher à quantifier et spatialiser finement la vulnérabilité future. Cela n'a ainsi pas été fait pour l'étude précitée en Rép. dominicaine. Les cartes de vulnérabilité actuelle ont simplement été utilisées pour alimenter les échanges sur la vulnérabilité future.

Dit autrement et pour résumer le propos, il paraît illusoire de penser pouvoir quantifier et spatialiser la vulnérabilité future (et donc en déduire des rendements potentiels et des pertes de rendement par rapport à une situation actuelle) en se basant uniquement sur quelques paramètres climatiques (par ex, précipitations mensuelles) considérés indépendamment les uns des autres (en l'absence de modèle intégrateur) et censés refléter l'exposition future, alors que les interactions/rétroactions entre température, disponibilité en eau, concentration en CO<sub>2</sub> atmosphérique, etc. sont nombreuses et complexes (Cf. **Partie 1.2**).

Certes, il existe désormais nombre de simulateurs d'impacts climatiques en libre accès sur internet et qui permettent de générer des cartes d'impacts climatiques (par ex, Think Hazard<sup>51</sup>, Climate Impact Explorer<sup>52</sup>, AWARE<sup>53</sup>, etc.), mais ces impacts sont généralement estimés de façon générale (tous secteurs économiques confondus) et classés par type d'évènement climatique extrême (par ex, crue, vague de chaleur, etc.) et ils ne sont pas prévus pour estimer des impacts à l'échelle géographique d'un projet donné et d'une filière donnée, en combinant des projections sur plusieurs paramètres climatiques.

---

<sup>49</sup> <http://oryzawebinterface.irri.org/>

<sup>50</sup> LI, T, ANGELES, O, MARCAIDA, M. III, MANALO, E, MANALILI, M. P, RADANIELSON, A, MOHANTY, S, 2017. *From ORYZA2000 to ORYZA (v3): An improved simulation model for rice in drought and nitrogen-deficient environments*. Agricultural and Forest Meteorology, 237-238, 246–256.

<sup>51</sup> <https://thinkhazard.org/fr/>

<sup>52</sup> <https://climate-impact-explorer.climateanalytics.org/>

<sup>53</sup> <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/tools/aware-for-investments-tm>

### **3. Comment planifier et mettre en œuvre des actions d'adaptation**

---

Comme indiqué précédemment, toutes les étapes de l'étude de vulnérabilité doivent être menées de façon participative avec les acteurs locaux, via de multiples allers-retours avec eux et des concertations de terrain. Lors des étapes précédentes (étape 1 – Analyse de la vulnérabilité actuelle ; étape 2 – analyse de la vulnérabilité future), les acteurs locaux auront été rencontrés sur le terrain et interviewés. Ils auront pu indiquer les contraintes rencontrées dans leurs activités et partager leur compréhension des effets des CC.

Lors de cette étape 3, il est utile de prévoir quelques réunions de terrain (de 3-4 h maximum) avec un nombre réduit de participants (15 à 20 personnes maximum) afin de restituer les analyses menées sous les étapes précédentes, en s'appuyant notamment sur les schémas de chaîne d'impacts climatiques, afin de (i) susciter des réactions/commentaires sur les constats faits et les affiner pour s'assurer qu'ils sont réellement partagés ; (ii) faire émerger des propositions d'actions d'adaptation.

Sur ce dernier point, il paraît adéquat de progresser en trois temps :

- Identifier avec les acteurs locaux les pratiques d'adaptation déjà existantes (ou « endogènes ») et qui pourraient répondre aux enjeux posés par les chaînes d'impacts (Cf. **Partie 3.1**),
- A défaut d'options d'adaptation endogènes ou si les options endogènes sont perfectibles, présenter des options exogènes (mais pratiquées dans des contextes similaires) et discuter avec les acteurs locaux des conditions de leur mise en place localement (Cf. **Partie 3.2**),
- Une fois une liste d'options d'adaptation endogènes et exogènes arrêtées, approfondir les analyses pour chacune d'elle (Cf. **Partie 3.3**).

Il est utile de souligner le fait que les options d'adaptation peuvent cibler différents aspects : techniques agricoles (par exemple, utilisation de semences à cycle court) ; infrastructures agricoles (par exemple, création d'AHA) ; gouvernance (par exemple, règles de gestion collective des AHA) ; solution fondée sur la nature (par exemple, promotion de la régénération naturelle assistée pour restaurer des bassins versants et améliorer la collecte d'eau).

Dans les faits, il est fréquent que les options d'adaptation ciblent plusieurs de ces aspects. Dans tous les cas, comme expliqué précédemment, la planification de l'adaptation se mène souvent dans un contexte d'incertitude sur l'avenir (aggravation possible des CC ? aggravation d'autres contraintes – démographiques, économiques, etc. ?) et on optera donc pour des options flexibles, aptes à être reconfigurées aisément.

#### **3.1. Comment identifier les pratiques d'adaptation endogènes ?**

---

##### **3.1.1. Qu'est-ce qu'une pratique d'adaptation endogène et comment identifier de telles pratiques ?**

---

Une technique endogène d'adaptation a deux caractéristiques :

- Elle permet de diminuer la sensibilité aux effets du CC ;
- Elle repose sur des savoirs locaux - « *ensemble cumulatif et complexe de savoir, savoir-faire, pratiques et représentations qui sont perpétués par des personnes ayant une longue histoire d'interaction avec leur environnement naturel* » (UNESCO, 2005)<sup>54</sup> - et se diffuse de façon spontanée, sans l'intervention d'acteurs extérieurs.

---

<sup>54</sup> UNESCO, 2005. *Towards knowledge societies*. Paris, Unesco Publications.

L'identification sommaire ou pré-identification de ces techniques endogènes se fait lors des étapes 1 et 2, et permet de les mentionner sous la composante « capacité d'adaptation » des chaînes d'impacts climatiques (par ex, utilisation de semences de riz à cycle court pour faire face au manque d'eau).

Lors des réunions organisées dans le cadre de l'étape 3, il est alors possible de les identifier plus finement, en questionnant les acteurs locaux : Ces techniques sont-elles a priori efficaces pour diminuer la sensibilité aux effets identifiées du CC ? Sont-elles répandues ou connues de quelques-uns seulement ? Est-il a priori envisageable de les diffuser à plus large échelle ?

### **3.1.2. Exemples de pratiques d'adaptation endogènes**

---

Ces pratiques sont a priori nombreuses. Par exemple, 43 pratiques ont été recensées et caractérisées dans le cadre des études de vulnérabilité au CC de cinq filières clefs de Haute Guinée : maraîchage, riz, bovins et petits ruminants, pêche (SalvaTerra & EGIS, 2021b)<sup>55</sup>.

Parmi elles, 11 pratiques endogènes communes à toutes les filières et dites « transversales » ont une assise culturelle et sociale forte, et répondent à trois enjeux majeurs des populations de Haute Guinée pour faire face aux crises en général, y compris celles causées par le CC : (i) Entraide au sens large : entraide intra-familiale structurelle ou ponctuelle, et entraide inter-familiale ponctuelle ; (ii) Accès facilité aux ressources naturelles (foncier, bois de feu et PFNL, pâturages, zones humides) ; (iii) Diversification des activités, création de rente et d'épargne.

Les 32 autres pratiques endogènes concernaient les cultures, l'élevage et la pêche. En matière de riziculture, les pratiques endogènes étaient les suivantes :

- Adaptation à la baisse de fertilité des sols et à la hausse de l'enherbement via riziculture de coteau itinérante sur abattis, jachère accélérée avec des plantes améliorantes, rotation à base de légumineuse, apport de matière organique ;
- Adaptation à l'absence de bœufs de labour (pénalisant dans un contexte de démarrage tardif de la saison des pluies et où la préparation rapide des parcelles est cruciale pour semer à temps), via recours à des prestations de labour par des tiers ou semis sans labour profond (hersage léger et rapide) ;
- Adaptation à l'irrégularité des pluies via adoption de semences à cycle court et moins gourmandes en eau ;
- Adaptation à la dépendance aux cultures pluviales et peu diversifiées via migration de la riziculture, des coteaux vers les dépressions (bas-fonds ou plaines), substitution du riz de coteau par des cultures moins exigeantes en eau ;

## **3.2. Comment identifier des pratiques d'adaptation exogènes ?**

---

### **3.2.1. Qu'est-ce qu'une pratique d'adaptation exogène et comment identifier de telles pratiques ?**

---

Le terme exogène signifie « ce qui vient de l'extérieur ». Les pratiques exogènes d'adaptation apportées par des projets ou ONG sont souvent basées sur les pratiques endogènes d'adaptation, après avoir été plus ou moins améliorées.

---

<sup>55</sup> SalvaTerra & EGIS, 2021b. Guinée – Renforcement des capacités des Ministères du développement rural et intégration transversale des enjeux d'adaptation dans les projets et programmes du PNIASAN 2018 – 2025 - Lignes directrices des techniques endogènes d'adaptation en Haute Guinée. 34p

Par exemple, l'apport de fumier brut sur les cultures peut être considéré comme une pratique d'adaptation endogène, pour améliorer la capacité de rétention en eau des sols et la mobilisation des nutriments, dans un contexte d'aridification.

L'apport de fumier composté après passage en fosse fumière peut être considéré comme une pratique d'adaptation exogène, car elle est promue par les projets et ONG. Elle permet d'améliorer la qualité du fumier par rapport à la technique endogène : meilleure stabilisation de l'azote, destruction des graines de mauvaises herbes, etc. Il y a donc une continuité entre les pratiques exogènes et endogènes.

Des publications et sites internet répertorient ces pratiques d'adaptation (exogènes et endogènes), en les désignant parfois sous les noms de pratiques d'AIC ou pratiques agroécologiques ou aussi parfois de Solutions fondées sur la nature (SFN), dont la définition est la suivante : « actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés, pour relever les enjeux de société de manière efficace et adaptative tout en assurant le bien-être humain et des avantages pour la biodiversité » (Union internationale pour la conservation de la nature – UICN, 2020)<sup>56</sup>, .

Leur approche commune peut se résumer comme suit : utiliser au mieux les ressources et les processus naturels pour produire durablement, à moindre coût et de façon adaptée dans le contexte du changement climatique.

Ces pratiques d'adaptation / AIC / agroécologie / SFN sont innombrables, car elles s'appliquent dans des contextes locaux spécifiques et se déclinent par rapport à diverses problématiques : gestion des sols, sélection variétale, gestion de l'eau, etc. Certaines options d'adaptation sont transversales à ces problématiques, telles par exemple les services de prévision et d'alerte agrométéorologiques ou les systèmes d'assurance agricole. Il est impossible de les présenter toutes ici, mais on peut présenter brièvement quelques-unes des pratiques les plus répandues ci-après et signaler deux sites de référence, où ces pratiques sont classées par thématique ou localisation géographique :

- Site du programme de recherche sur le changement climatique, l'agriculture et la sécurité alimentaire (*Climate Change, Agriculture and Food Security – CCAFS*)<sup>57</sup> du Groupe consultatif pour la recherche agricole (*Consultative Group on International Agricultural Research - CGIAR*) ;
- Site du Guide de référence de l'AIC (*Climate-Smart Agriculture – CSA - Sourcebook*)<sup>58</sup> de l'Organisation des Nations-Unies pour l'alimentation et l'agriculture (*Food and Agriculture Organisation – FAO*).

### **3.2.2. Exemples de pratiques d'adaptation exogènes**

---

En ce qui concerne les cultures végétales, dont le riz, on peut citer quelques pratiques d'adaptation parmi les plus répandues :

- **Gestion durable des sols** : L'enjeu principal est d'amener de la matière organique aux sols ou de la maintenir, ce qui a de multiples avantages en termes d'adaptation : moins d'érosion et d'infiltration de l'eau en profondeur lors des pluies, plus de stockage d'eau dans les horizons agricoles d'où une augmentation de la réserve en eau facilement utilisable (RFU), meilleure mobilisation des nutriments du sol dans des contextes d'aridification, etc.

---

<sup>56</sup> UICN, 2020. *Norme mondiale des Solutions fondées sur la nature*. 23p

<sup>57</sup> <https://ccaafs.cgiar.org/fr/research/technologies-et-pratiques-de-laic>

<sup>58</sup> <https://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/fr/>

Parmi les pratiques de gestion des sols, on peut citer la pose de cordons pierreux pour limiter l'érosion en amont des AHA et favoriser la collecte de l'eau ; l'apport de matière organique (fumier ou compost) pour renforcer la fertilité des sols et la RFU (« effet éponge ») ; le semis sous couvert végétal (SCV, avec *Brachiaria spp*, *Eleusine spp*, etc.), qui permet d'améliorer la fertilité des sols (« engrais vert » : apport d'azote avec des légumineuses, remontée et remobilisation en surface du phosphore profond avec des graminées, etc.), de limiter l'érosion et l'évaporation de l'eau, de « couper » les cycles des adventices en gênant leur levée, etc.

- **Sélection variétale** : Les enjeux sont d'identifier des variétés plus tolérantes/robustes (à la sécheresse, à la salinisation, à la verse, aux ravageurs, aux vagues de chaleur, etc.) et/ou à cycle plus court (meilleur calage avec les pluies) et/ou plus productives.

Parmi les expériences réussies de sélection variétale, on peut citer l'initiative « *nouveau riz pour l'Afrique* » (*New Rice for Africa – NERICA*)<sup>59</sup>. Il faut par ailleurs noter que sélection variétale ne signifie pas forcément sélection de semences « exotiques » et appauvrissement de la biodiversité locale. Il est courant de faire de la sélection variétale à partir de semences locales, ce qui contribue à la préservation de l'agrobiodiversité.

- **Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)** : L'enjeu en agriculture pluviale est de récupérer le maximum d'eau de pluie et de favoriser son infiltration ; en agriculture irriguée, il s'agit d'optimiser l'utilisation de l'eau (irrigation d'appoint pour réduire le stress hydrique aux stades critiques de développement, meilleure planification des tours d'eau, etc.).

Parmi les pratiques de GIRE en agriculture irriguée, on peut citer la création et/ou réhabilitation d'AHA ; l'alternance d'humidification et d'assèchement (*Alternate-Wetting-Drying – AWD*), qui permet de limiter les volumes et les coûts d'irrigation, qui accroît l'efficacité de l'utilisation de l'eau et du phosphore, qui augmente le tallage et donc le rendement potentiel, etc. (ACOSTA-MOTOS et al., 2020)<sup>60</sup> ; le Système de riziculture intensive (SRI) qui est une des déclinaisons de l'AWD, etc.



Figure 16 - Photo de riz semé sous couvert végétal (crédit : GSDM, 2008)



Figure 17 - Photo de sarclage sur parcelle en SRI (crédit : Inter-réseaux, 2011)

- **Agroforesterie en bordure de périmètre irrigué** : Les enjeux sont doubles : (i) accroître la production agricole à l'échelle d'un bassin versant : limitation de l'érosion et infiltration de

<sup>59</sup> <https://www.africanrice-fr.org/nerica>

<sup>60</sup> ACOSTA-MOTOS, J R, ROTHWELL S A, MASSAM M J, ALBACETE A, ZHANG H, DODD I C., 2020. *Alternate wetting and drying irrigation increases water and phosphorus use efficiency independent of substrate phosphorus status of vegetative rice plants* - Plant Physiology and Biochemistry, Volume 155, pp914-926

l'eau en amont d'un AHA, apport de matière organique (litière des arbres) voire d'azote (si arbres légumineux), remontée d'éléments minéraux profonds (notamment le phosphore), (ii) créer d'autres sources d'aliments/revenus : bois de feu et produits forestiers non-ligneux (PFNL), y compris ligneux fourragers.

Parmi les pratiques agroforestières, on peut citer la régénération naturelle assistée (RNA), les cultures sous parcs arborés (*Faidherbia albida*, karité, etc.), les cultures en couloir agroforestier (*Acacia spp.*, *Leucaena leucocephala*, etc.), les haies vives, etc. Il faut noter que les techniques d'agroforesterie sont des SFN : par exemple, la RNA permet de restaurer des écosystèmes dégradés, ce qui accroît la fertilité des sols et la productivité agricole, mais permet aussi de produire plus de PFNL (karité, néré, etc.) et de protéger la biodiversité (des forêts, des sols, de la faune, etc.)

### 3.3. Comment prioriser les options d'adaptation ?

#### 3.3.1. Organiser des discussions approfondies pour l'analyse des options d'adaptation

Une fois listées les pratiques exogènes et endogènes d'adaptation a priori intéressantes, il est nécessaire d'organiser des discussions approfondies avec les acteurs locaux, afin de confirmer ou d'infirmer le choix des pratiques et de les affiner. Pour faciliter et structurer les discussions, il paraît judicieux de s'appuyer sur trois questions, à discuter de façon séquentielle comme suit :

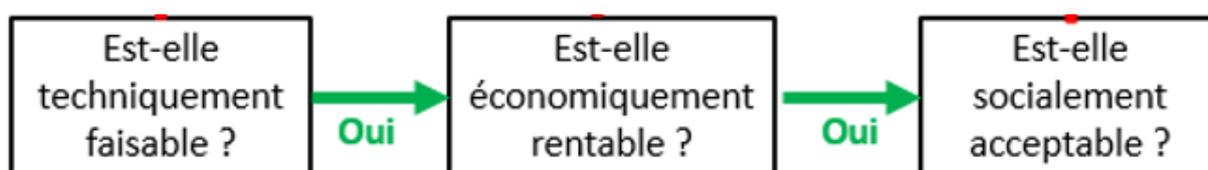


Figure 18 - Questions séquentielles pour analyser les options d'adaptation (auteurs, 2023)

Ces trois questions permettent de discuter de façon exhaustive les avantages/inconvénients de chaque option, y compris :

- La durabilité environnementale ; cet aspect est inclus dans la première question, sur la faisabilité technique. Si la mise en œuvre de l'action repose sur l'utilisation non durable de ressources naturelles (par ex, drainage de zones humides ou de tourbières pour créer un périmètre irrigué), cela signifie que l'action n'est pas tenable techniquement dans la durée ;
- La prise en compte adéquate du genre : cet aspect est inclus dans la dernière question, sur l'acceptabilité sociale. Si la mise en œuvre de l'action accroît les inégalités de genre (par ex, exigence d'un pourcentage de cofinancement des AHA aussi élevé pour les hommes que pour les femmes, alors que ces dernières ont des ressources propres plus limitées), cela signifie que cette action ne sera pas socialement acceptable pour les femmes.

Le fait de répondre séquentiellement à chaque question permet d'éviter de perdre du temps : si une option n'est pas techniquement faisable, inutile d'aller plus loin ; idem si elle est techniquement faisable, mais pas économiquement rentable. On élimine donc d'emblée toute option pour laquelle une des réponses aux trois questions serait « non ».

Par ailleurs, on précise pour chaque réponse le niveau de certitude sur la réponse : « oui, sans aucun doute » (couleur verte dans les figures ci-dessous) ou « oui, avec quelques doutes » (couleur orange dans les figures ci-dessous). Si au moins deux réponses sur trois sont « oui, avec quelques doutes », l'option paraît trop incertaine et mieux vaut alors suggérer aux acteurs locaux de l'écartier d'emblée.

In fine, pour une option donnée, si les trois réponses sont positives, qu'il n'y a plus qu'une réponse « *oui, avec quelques doutes* » et qu'on a – pour cette dernière réponse - des propositions pour lever les doutes / minimiser les risques, on a de bonnes raisons de penser que l'option sera adaptée et durable.

### 3.3.2. Ex. de discussions sur l'option « Promouvoir la riziculture irriguée, via des AHA » en Haute Guinée

Le changement climatique, notamment les pluies de plus en plus erratiques dans le temps et dans l'espace, rend les cultures pluviales de plus en plus risquées. Par ailleurs, la culture du riz avec maîtrise partielle de l'eau est productive (par ex en Haute Guinée, au moins 2 t/ha en étant conservatif, soit un rendement deux fois plus élevé que le riz pluvial) et permet d'optimiser la main d'œuvre dont disposent les UP, même les plus vulnérables (seul facteur de production non limitant pour ces dernières). Enfin, elle peut être couplée à des productions maraichères de contre-saison, très appréciées par les femmes.

Enfin, un projet de développement de la riziculture irriguée peut, dans une certaine mesure, « adapter » les règles traditionnelles d'accès au foncier, en conditionnant notamment son financement à la mise en place de critères d'accès « pro-femmes » et/ou « pro-jeune ». Ceci offre des opportunités inédites à ces groupes dont l'accès au foncier est traditionnellement limité à ce que le chef de terre, ou le père / chef de famille, ou le mari / chef de famille veut bien octroyer sur le domaine foncier qu'il gère.

La création d'AHA « modestes » (sur de petites plaines) peut donner de bons résultats, pour peu que les spécificités locales (nature des sols, topographie, régime des crues, etc.) soient bien prises en compte lors des études d'implantation et que les usagers soient correctement appuyés pour leur gestion (gestion collective des tours d'eau, entretien régulier des drains/canaux/diguettes/etc., mise en place d'un fonds de travaux pour acheter ciment/fer/etc.).

Une fois menées les discussions préliminaires, les participants ont répondu aux questions et leurs analyses ont été les suivantes, ce qui a in fine amené à valider cette option d'adaptation :

Faisabilité technique	Les services du génie rural (niveaux préfectoral et régional) sont capables de planifier la création d'AHA et de suivre les travaux d'implantation. Ces travaux pourront être menés selon le schéma habituel par des entreprises et les populations locales (apport de main d'œuvre).
Rentabilité économique	Le coût d'un AHA est considérable, mais les recettes potentielles sont élevées s'il est bien utilisé (doublement du rendement de riz en saison humide, maraichage pendant une partie de la saison sèche). La rentabilité est donc a priori bonne en année normale et excellente en année de sécheresse.
Acceptabilité sociale (incluant enjeux relatifs au genre ♀)	Des accords de cession foncier peuvent a priori être préparés et signés par les coutumiers et les ayants-droits locaux. De plus, cette option est très intéressante pour faciliter l'accès au foncier des femmes et des jeunes. Par contre, on peut avoir des doutes sur l'entretien dans la durée des AHA : l'organisation locale pour leur gestion durable doit être fortement renforcée pour éviter le phénomène de passager clandestin, qui est hélas fréquent.

Figure 19 - Synthèse de l'analyse participative de l'option "AHA" en Haute Guinée (SalvaTerra & EGIS, 2021a)

### 3.4. Comment mettre en œuvre et suivre/évaluer les actions d'adaptation ?

---

#### 3.4.1. Comment mettre en œuvre les actions d'adaptation ?

---

Quelques principes clefs doivent être respectés :

- **S'insérer dans le cadre politique** : La mise en œuvre des actions doit se faire en conformité avec les politiques en matière d'adaptation de l'agriculture au changement climatique (politique agricole, CDN, PNA, etc.) mais aussi – selon les filières considérées – d'autres politiques spécifiques (en matière d'irrigation, d'aménagement du territoire, etc.). Ceci ne doit a priori pas poser de problème, étant donné que la révision du cadre politique fait partie des prérequis à l'élaboration des options d'adaptation (Cf. **Partie 2.1**) ;
- **Identifier les rôles et responsabilités de tous les intervenants** (bénéficiaires et services/entités en appui aux bénéficiaires) : Les intervenants peuvent être divers et nombreux (techniciens et élus d'OPA ; agents des services centraux et déconcentrés des Ministères en charge de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche, de l'environnement ; agents d'ONG ; etc.) et il est nécessaire que chacun comprenne bien ce qu'il est attendu de lui ;
- **Mettre les paysans au centre du jeu** : parmi tous les intervenants, les paysans ont un statut particulier. Ils sont en effet au cœur des activités rurales, car les filières agricoles, riz en particulier, sont généralement courtes. Les options d'adaptation les concernent donc au premier chef et il est logique de les faire participer au comité de pilotage d'un projet d'adaptation. Quant à la mise en œuvre des actions sur le terrain, elle peut se baser sur la méthode dite « *Accompagnement des dynamiques d'organisations paysannes* » (ADOP), formalisée par l'ONG INADES-formation<sup>61</sup>, éprouvée sur le terrain en Afrique de l'Ouest et ayant démontré dans la pratique son efficacité. On peut résumer l'ADOP par trois principes clefs :
  - « *Un tas de brique ne fait pas une maison* » : l'accumulation de formations, de dons en matériels, de voyages d'études, etc. ne mettent pas les paysan(ne)s en mouvement ... Au contraire, en renforçant l'assistanat, elles peuvent parfois être contre-productives et laisser penser aux paysan(ne)s que d'autres « *savent ce qui est bon pour eux* » ;
  - « *La formation par l'action est la plus efficace* » : les projets démarrant par une phase préparatoire de formation théorique ne fonctionnent pas. Les paysan(ne)s, pragmatiques, se désintéressent des appuis, qui ne répondent pas à leurs attentes de court-terme. L'incompréhension se creuse alors entre eux et le projet. Pour éviter ce scénario en queue de poisson, l'approche consistant à aider les paysan(ne)s à prioriser et mettre en œuvre une action concrète et aux résultats visibles ("action structurante") est souvent pertinente ;
  - « *Un km commence par un pas* » : Chaque paysan(ne)s a ses propres forces, faiblesses et attentes. Les appuis apportés ne doivent pas poursuivre l'objectif illusoire de « *répondre à tout, tout de suite* ». Il faut que l'agent de projet s'adapte au paysan(ne), et non l'inverse.

---

<sup>61</sup> [www.inadesfo.net](http://www.inadesfo.net)

### **3.4.2. Comment suivre et évaluer les actions d'adaptation ?**

---

Là aussi, quelques principes clefs doivent être respectés :

- **Reposer sur des indicateurs SMART<sup>62</sup>** : Les indicateurs doivent être Spécifiques, Mesurables, Atteignables, Réalistes et Temporellement définis. Ces indicateurs sont distingués entre ceux témoignant « de résultats » (par ex, rendements en riz obtenus grâce à un AHA) et ceux témoignant « de moyens » (par ex, surfaces sous aménagement) ;
- **Décliner les indicateurs pour suivre les réductions d'inégalité de genre** : Comme indiqué précédemment (Cf. **Partie 2.1**), les défis en la matière sont importants dans le secteur agro-sylvo-pastoral. Il est donc important d'avoir des indicateurs « sexospécifiques » (par ex, rendements en riz obtenus par les productrices grâce à un AHA ou surfaces sous aménagement et exploitées par des femmes) ;
- **Utiliser le système de suivi-évaluation pour réviser périodiquement les actions d'adaptation** : Comme indiqué précédemment (Cf. **Partie 2.1**), le CC étant un phénomène dynamique et non linéaire (il est probable qu'il s'aggrave encore fortement si les mesures d'atténuation ne sont pas renforcées), s'appliquant à des systèmes eux-mêmes dynamiques (hausse de la population et dégradation accélérée des ressources naturelles, en plus des impacts négatifs du changement climatique), il est opportun de définir des trajectoires d'adaptation sur le moyen et long terme, puis de réévaluer périodiquement leur pertinence, en fonction notamment des CC observés et des nouvelles projections d'évolution du climat futur. La révision des options d'adaptation doit permettre d'avancer de façon pragmatique, en dépit des incertitudes concernant les effets du CC ;
- **Rendre accessible les données de suivi-évaluation** : Ces données doivent être ouvertes à tous les acteurs concernés et compréhensibles, y compris par les paysans qui sont au centre du jeu et doivent faire partie du comité de pilotage d'un projet d'adaptation les concernant.

### **Conclusion**

---

Une analyse de vulnérabilité au CC d'un projet de riziculture irriguée implique donc de collecter et traiter des données bibliographiques (projections climatiques notamment) et de terrain, afin de pouvoir élaborer des chaînes d'impacts climatiques.

Ces chaînes d'impacts permettent ensuite de planifier et mettre en œuvre des actions d'adaptation, en identifiant des pratiques d'adaptation endogènes vs exogènes ; en animant des réflexions collectives et en priorisant les options d'adaptation ; puis, in fine, en mettant en œuvre et en suivant/évaluant les actions d'adaptation.

La mise en œuvre de cette démarche doit se faire en veillant à deux principes :

- **Eviter la maladaptation** : éviter les actions engendrant une dégradation des ressources naturelles, favoriser la réduction des inégalités socio-économiques et soutenir la diversification des activités et revenus (MAGNAN, 2013) ;
- **Identifier et prendre en compte des enjeux transversaux** (par exemple : GIRE, dynamiques foncières, trajectoire bas carbone), l'étude adaptation d'un projet de riziculture irriguées devant s'inscrire dans une approche holistique et multi-échelle.

---

<sup>62</sup> [https://fr.wikipedia.org/wiki/Objectifs\\_et\\_indicateurs\\_SMART](https://fr.wikipedia.org/wiki/Objectifs_et_indicateurs_SMART)

## Bibliographie

---

ACOSTA-MOTOS, J R, ROTHWELL S A, MASSAM M J, ALBACETE A, ZHANG H, DODD I C., 2020. *Alternate wetting and drying irrigation increases water and phosphorus use efficiency independent of substrate phosphorus status of vegetative rice plants* - Plant Physiology and Biochemistry, Volume 155, pp914-926

BOZZA, 2009. *Maintien de la fertilité des sols en zone de savanes par l'utilisation de la jachère améliorée : essais en station à Bébédjia, Institut tchadien de recherche agronomique pour le développement (ITRAD)*. 21p

Climate Analytics, 2019. *Guide de bonnes pratiques pour la conduite d'études de vulnérabilité au CC en Afrique de l'Ouest*. 80p

DEUTSCH CA, TEWKSBURYJJ, TIGCHELAAR M, BATTISTI DS, MERILL SC, HUEY RB, NAYLOR RL, 2018. *Increase in crop losses to insect pests in a warming climate*. Science. 2018 Aug 31;361(6405):916-919.

FAO. 2020. *Emissions due to agriculture. Global, regional and country trends 2000–2018*. FAOSTAT Analytical Brief Series No 18. 14p

GIZ, 2017. *The Vulnerability Sourcebook - Concept and guidelines for standardized vulnerability assessments*. 180p

GUIBERT, 1999. *Evolution de la matière organique et de la capacité d'échange cationique des allisols tropicaux cultivés*. Thèse de doctorat. Nancy – Institut national polytechnique de Lorraine (INPL), 203p

Gvt Guinée, 2021. *Contribution déterminée au niveau national au titre de la CCNUCC*. 47p

HAASNOOT, 2012. *Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world*. Global Environment Change. pp485-498

HALLEGATTE, 2009. *Strategies to adapt to uncertain Climate Change*. Global Environment Change. pp240-247

HUSSON et al, 2013. *Manuel pratique du semis direct sur couverture végétale permanente (SCV). Application à Madagascar*. Groupement semis direct de Madagascar (GSDM) & Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement. Cf. version interactive sur <http://uved-scv.cirad.fr/co/AccueilGuideSCV.html>

IPCC, 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the 3<sup>rd</sup> Assessment Report of the IPCC, edited by J. J. McCARTHY, O. F. CANZIANI, N. A. LEARY, D. J. DOKKEN and K. S. WHITE (eds)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA, 2001. 1032p

IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the 4<sup>th</sup> Assessment Report of the IPCC, edited by M.L. PARRY, O.F. CANZIANI, J.P. PALUTIKOF, P.J. VAN DER LINDEN and C.E. HANSON (eds)*. Cambridge University Press, UK. 976p

IPCC, 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the IPCC edited by FIELD, C.B., V. BARROS, T.F. STOCKER, D. QIN, D.J. DOKKEN, K.L. EBI, M.D. MASTRANDREA, K.J. MACH, G.-K. PLATTNER, S.K. ALLEN, M. TIGNOR, and P.M. MIDGLEY (eds.)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582p

IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the 5<sup>th</sup> Assessment Report of the IPCC edited by STOCKER, T.F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX and P.M. MIDGLEY (eds.)*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535p

IPCC, 2018. *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* edited by MASSON-DELMOTTE, V., P. ZHAI, H.-O. PORTNER, D. ROBERTS, J. SKEA, P.R. SHUKLA, A. PIRANI, W. MOUFOUMA-OKIA, C. PEAN, R. PIDCOCK, S.

Riziculture irriguée et changement climatique - Approfondissements méthodologiques pour la finance climat et la contribution aux trajectoires long terme AFOLU bas carbone et résiliente – L 2.1 : Indications pour mener les analyses relatives à l'adaptation au changement climatique d'un projet de riziculture irriguée

CONNORS, J.B.R. MATTHEWS, Y. CHEN, X. ZHOU, M.I. GOMIS, E. LONNOY, T. MAYCOCK, M. TIGNO, and T. WATERFIELD (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 616p.

IPCC, 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* edited by P.R. SHUKLA, J. SKEA, E. CALVO BUENDIA, V. MASSON-DELMOTTE, H.-O. PORTNER, 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. PORTUGAL PEREIRA, P. VYAS, E. HUNTLEY, K. KISSICK, M. BELKACEMI, J. MALLEY (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 896p.

IPCC, 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the 6th Assessment Report of the IPCC* edited by MASSON-DELMOTTE, V., P. ZHAI, A. PIRANI, S.L. CONNORS, C. PEAN, S. BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M.I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZELL, E. LONNOY, J.B.R. MATTHEWS, T.K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKCI, R. YU, and B. ZHOU (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391p

IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the 6th Assessment Report of the IPCC* edited by H.-O. PORTNER, D.C. ROBERTS, M. TIGNOR, E.S. POLOCZANSKA, K. MINTENBECK, A. ALEGRIA, M. CRAIG, S. LANGSDORF, S. LOSCHKE, V. MOLLER, A. OKEM, B. RAMA (eds.). Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056p.

LI, T, ANGELES, O, MARCAIDA, M. III, MANALO, E, MANALILI, M. P, RADANIELSON, A, MOHANTY, S, 2017. *From ORYZA2000 to ORYZA (v3): An improved simulation model for rice in drought and nitrogen-deficient environments*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 237-238, 246–256.

MAGNAN, 2013. *Éviter la maladaptation au changement climatique*. Paris - IDDRI, 4p

MANNEH B, KIEPE P, SIE M, NDJIONDJOP M, DRAME Nk, TRAORE K, RODENBURG J, SOMADO E, NARTEH L, YOUM O, DIAGNE A, FUTAKUCHI K, 2007. *Exploiting partnerships in research and development to help African rice farmers cope with climate variability*. *J. SAT Agri. Res.* 4.

MASUTOMI, Y., et al., 2019. *Rice grain quality degradation and economic loss due to global warming in Japan*. *Environ. Res. Commun.*, 1(12), 121003.

MOHANTY S, WASSMANN R, NELSON A, MOYA P, and JAGADISH SVK, 2013. *Rice and climate change: significance for food security and vulnerability*. IRRI Discussion Paper Series No. 49. Los Baños. 14p

RODENBURG J, JOHNSON D.E., 2009. *Chapter 4 Weed Management in Rice-Based Cropping Systems in Africa*. *Advances in Agronomy*, Academic Press, Volume 103. Pp 149-218.

RODENBURG J, RICHES CR, KAYEKE JM, 2010. *Addressing current and future problems of parasitic weeds in rice*. *Crop Protection*, Volume 29, Issue 3, pp210-221.

RODENBURG J., MEINKE H., JOHNSON D.E., 2011. *Challenges for weed management in African rice systems in a changing climate*. *Journal of Agricultural Science* (2011), 149, 427–435. Cambridge University Press 2011.

SalvaTerra & EGIS, 2020. *Apoyo al sector Agrícola de la Republica dominicana en un contexto de cambio climático - vulnerabilidad de seis sistemas de producción agrícolas estratégicos*. 200p

SalvaTerra & EGIS, 2021a. *Guinée – Renforcement des capacités des Ministères du développement rural et intégration transversale des enjeux d'adaptation dans les projets et programmes du PNIASAN 2018 – 2025 - Etude de vulnérabilité au changement climatique en Haute Guinée et propositions d'options d'adaptation*. 286p

SalvaTerra & EGIS, 2021b. *Guinée – Renforcement des capacités des Ministères du développement rural et intégration transversale des enjeux d'adaptation dans les projets et programmes du PNIASAN 2018 – 2025 - Lignes directrices des techniques endogènes d'adaptation en Haute Guinée*. 34p

SalvaTerra & EGIS, 2022. *Talaky Be - Adaptation de l'agriculture aux changements climatiques et renforcement de la résilience des communautés rurales du Sud-Est de Madagascar - Livrable 6. Etude de faisabilité du Projet Talaky Be*. 209p

Riziculture irriguée et changement climatique - Approfondissements méthodologiques pour la finance climat et la contribution aux trajectoires long terme AFOLU bas carbone et résiliente – L 2.1 : Indications pour mener les analyses relatives à l'adaptation au changement climatique d'un projet de riziculture irriguée

SURET-CANALE, 1970. *La République de Guinée. Article paru dans L'Homme et la société n°17.* Paris, Éditions sociales, pp329-330

UICN, 2020. *Norme mondiale des Solutions fondées sur la nature.* 23p

UNESCO, 2005. *Towards knowledge societies.* Paris, Unesco Publications.

VAN OORT P.A.J., ZWART S.J., 2017. *Impacts of climate change on rice production in Africa and causes of simulated yield changes.* Glob Change Biol. 2018; 24:1029–1045.

WASSMANN, R., JAGADISH, S. V. K., HEUER, S., ISMAIL, A., REDONA, E., SERRAJ, R., SINGH, R. K., HOWELL, G., PATHAK, H., and SUMFLETH, K., 2009. *Chapter 2 Climate change affecting rice production: The physiological and agronomic basis for possible adaptation strategies.* Advances in Agronomy 101.

WASSMANN, R., JAGADISH, S. V. K., HEUER, S., ISMAIL, A., REDONA, E., SERRAJ, R., SINGH, R. K., HOWELL, G., PATHAK, H., and SUMFLETH, K., 2009. *Chapter 3 Regional Vulnerability of Climate Change Impacts on Asian Rice Production and Scope for Adaptation.* Advances in Agronomy 101.

<http://oryzawebinterface.irri.org/>

<https://ccafs.cgiar.org/fr/research/technologies-et-pratiques-de-laic>

<https://cip.csag.uct.ac.za/webclient2/app/#datasets>

<https://climateactiontracker.org/global/temperatures/>

<https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/tools/aware-for-investments-tm>

<https://climate-impact-explorer.climateanalytics.org/>

<https://climateinformation.org/dap>

<https://climateknowledgeportal.worldbank.org>

<https://fr.climate-data.org/afrique/guinee/region-de-kankan-1300/r/ao%c3%bbt-8/>

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Objectifs\\_et\\_indicateurs\\_SMART](https://fr.wikipedia.org/wiki/Objectifs_et_indicateurs_SMART)

<https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/explore-countries>

<https://thinkhazard.org/fr/>

<https://wascal.org>

<https://www.africarice-fr.org/nerica>

<https://www.clinfo.eu/mean-median/>

<https://www.ecmwf.int/>

<https://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/fr/>

<https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT>

<https://www.globalforestwatch.org/>

<https://www.inadesfo.net>

<https://www.isimip.org/>

<https://www.naio-technologies.com/irrigation-determinez-besoins-eau-cultures-stocks-deau-disponibles/>

<https://www.oecd.org/stories/gender/social-norms-and-gender-discrimination/sigi>

<https://www.wcrp-climate.org>

## **Annexe - Liste de bases de données en libre-accès et utiles pour des analyses d'adaptation**

---

**Contribution déterminée au niveau national – CDN** (pour les 195 pays engagés dans l'Accord de Paris) : <https://unfccc.int/NDCREG>

**Plans nationaux d'adaptation – NAP** (pour les 40 pays ayant développé un PNA) : <https://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Pages/national-adaptation-plans.aspx>

**Genre** (Indice des institutions sociales et du genre / *Social Institutions and Gender Index* (SIGI) pour 179 pays analysés) : <https://www.oecd.org/stories/gender/social-norms-and-gender-discrimination/sigi>

**Sécurité alimentaire** (index disponible pour les 106 pays analysés, dernière mise à jour en 2022) : <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/explore-countries>

**Productions agricoles** (données annuelles de surfaces, rendements, volumes, etc. disponibles pour 245 pays et territoires, de 1961 à nos jours) : <https://www.fao.org/faostat/en/>

**Séries météorologiques** (données mensuelles disponibles au niveau mondial, de 1940 à nos jours, selon une grille de 30 km, produites par le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme / *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF)) : disponibles au format Excel <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5> et en tableaux de synthèse, par exemple pour la région de Kankan en Guinée <https://fr.climate-data.org/afrique/guinee/region-de-kankan-1300/r/ao%c3%bbt-8/>

**Projections climatiques** (données disponibles au niveau mondial, selon une grille de 50 km, produites par l'Institut suédois de météorologie et d'hydrologie / *Swedish Meteorological and Hydrological Institute* (SMHI)) : <https://climateinformation.org/dap>

**Topographie** (modèle numérique de surface disponible à échelle globale, à 30 m de résolution) : <https://portal.opentopography.org/raster?opentopoID=OTSDEM.032021.4326.3>

**Réseau hydrographique** (données disponibles à échelle globale, à 12 m de résolution, mise à jour en continu) : <https://www.hydrosheds.org/>

**Usage des sols** (données disponibles à échelle globale, à 100 m de résolution, dernière mise à jour en 2020) : <https://land.copernicus.eu/global/products/lc>

**Couvert forestier** (données disponibles à échelle globale, à 30 m de résolution (voire rééchantillonné à 10 m), mise à jour en continu) : <https://www.globalforestwatch.org/>

**Adaptation de l'agriculture / Agriculture climato-intelligente** : (i) Site du programme de recherche sur le changement climatique, l'agriculture et la sécurité alimentaire (*Climate Change, Agriculture and Food Security* – CCAFS) du Groupe consultatif pour la recherche agricole (*Consultative Group on International Agricultural Research* - CGIAR) : <https://ccafs.cgiar.org/fr/research/technologies-et-pratiques-de-laic> ; (ii) Site du Guide de référence de l'AIC (*Climate-Smart Agriculture – CSA - Sourcebook*) de l'Organisation des Nations-Unies pour l'alimentation et l'agriculture (*Food and Agriculture Organisation* – FAO) : <https://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/fr/>



Avril 2023

SAS SalvaTerra

6 rue de Panama

75018 Paris I France

Tél : +33 (0)6 66 49 95 31

Email : [info@salvaterra.fr](mailto:info@salvaterra.fr)

Web : [www.salvaterra.fr](http://www.salvaterra.fr)

