



● 老米
Riz traditionnel
更多树木！
Plus d'arbres

© Joy Savage D'Angelo



Atténuer les risques de l'utilisation de riz hybride dans l'agriculture en terrasse

Réduire les glissements de terrain

Joy D'Angelo · Santosh S. Palmate · Luc Descroix

Travaux réalisés sous aucune subvention particulière mais avec la participation gracieuse de :

l'Université de Nationalités à Yunnan

D'Angelo Development Consulting, LLC

L'Université de Texas A&M AgriLife Extension

L'Institut Français de Recherche pour le développement UMR PALOC IRD/MNHN

Photos © Joy D'Angelo

Sauf : YUANYANG, YUNNAN / CHINA - NOV 15, 2012: Young Hani woman (Chinese ethnic minority) wears a black-and-blue traditional ethnic costume with blue headscarf and poses for the camera, on Nov 15, 2012. © Matt Hahnewald

Publication originale :

D'Angelo J., Palmate S. S., Descroix Luc. (2023). Mitigating risks of hybrid rice use in terrace agriculture. *Geography and Sustainability*, 4 (1), p. 1-5. ISSN 2096-7438 <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2022.11.002>

Traduit en français par les auteurs mars 2023

Atténuer les risques de l'utilisation du riz hybride dans l'agriculture en terrasse

Joy D'Angelo ^{a, *}, Santosh S. Palmate ^b, Luc Descroix ^c

^a École des langues ethniques, Université des Nationalités à Yunnan, Kunming 650031, Chine

^b Texas A&M AgriLife Research, Texas A&M University System, El Paso, Texas 79927, États-Unis d'Amérique

^c Hydrologie à UMR PALOC IRD/MNHN, 75231 Paris Cedex 05, France

* Auteur correspondante dangelo.joy@gmail.com

Traduit en français par les auteurs. VO : doi: <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2022.11.002>

À citer sous : D'Angelo, J. et al. 2023. *Mitigating risks of hybrid rice use in terraced agriculture*. *Geography and Sustainability*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2022.11.002>



Résumé

Les rizières en terrasses de Honghe Hani, dans la province du Yunnan, sont devenues un emblème national de la Chine et un site du patrimoine mondial de l'UNESCO, mais certaines commencent à s'effondrer. Cette recherche tente de déterminer pourquoi cela se produit et ce qui peut être fait à ce sujet. Les travaux antérieurs n'avaient pas permis de remédier de manière adéquate aux éventuelles lacunes technologiques dans la gestion des semences et de l'eau, récemment introduites, à leur impact particulier sur les rizières en terrasses et les personnes qui en dépendent. Dans le but de mieux comprendre la question, l'observation sur le terrain a été conjuguée avec des entretiens approfondis avec les populations locales et l'examen de la littérature scientifique. Pour ce faire, les auteurs ont passé du temps en Chine avec un traducteur dans un village clé connu pour être le premier dans la région à vraiment réussir à sculpter les rizières en terrasses et à faire fonctionner le système d'irrigation des versants de montagne. Les résultats validés par des experts dans chaque domaine indiquent que si les nouvelles semences et technologies permettent d'économiser de l'eau et d'améliorer les conditions de vie, en association avec les stratégies migratoires, elles peuvent, par contre, également menacer la viabilité à long terme des rizières en terrasses dans la région. Les auteurs concluent qu'une approche intégrée est nécessaire et proposent un plan stratégique pour renforcer la durabilité écologique, sociale et économique de l'agrosystème. Ils appellent également à davantage de recherches sur l'applicabilité de ces mesures de résilience dans d'autres régions ayant adopté le riz hybride en terrasses, telles que les Philippines et le Vietnam.

A RETENIR :

- Le riz hybride Chinois a eu un impact positif bien au-delà de l'accroissement des rendements.
- Cependant, il peut avoir un impact négatif sur la recharge de l'aquifère local de montagne.
- Une approche intégrée est nécessaire pour empêcher les terrasses de s'effondrer
- Intercaler les variétés traditionnelles et des arbres à des emplacements stratégiques pourrait être une solution.

1. Introduction

De nombreuses dynamiques de cet écosystème étonnant de rizières en terrasses de Honghe Hani ont été documentées dans une grande variété de publications ; cependant, les faits sont généralement transcrits en insistant sur une résilience en parfait équilibre. C'est ce qui nous a attirés vers ce qui était à l'origine une étude ethnographique sur le terrain de la gestion traditionnelle de l'eau rurale Hani. Ce que nous avons découvert sous cet angle, c'est que c'était des changements relativement récents du système qui semblaient le mettre en danger. Pour comprendre la dynamique en jeu, une étude interdisciplinaire était nécessaire.

2. Matériaux et méthodes

2.1. Peuple

Hani n'est pas une langue écrite et elle change considérablement d'une vallée à l'autre. Les histoires de ce peuple sont transmises principalement par le chant, la danse, la broderie et la généalogie patrilinéaire. La littérature existante sur le peuple Hani et les histoires sur l'origine des rizières en terrasses a évolué et ne répondait pas aux questionnements techniques nécessaires pour mieux en comprendre les principes écologiques, hydrologiques ou agronomiques à l'œuvre.

2.2. Environnement

Les rizières en terrasses de Honghe Hani sont situées dans la région montagneuse du sud-ouest de la Chine (23°05'35,8 " N, 102°46' 47,9" E), dans la province du Yunnan, à haute altitude (1 570–2 000 m), et sur un sol généralement classé comme latosol haplique (chinois) ou cambisol ferrallique (FAO-UNESCO). Le climat est doux avec une température comprise entre 2°C (36°F) et 24°C (75°F), une humidité moyenne entre 58% et 83%, une pluviométrie annuelle moyenne de 1 012 mm (39,84 po) et 2 445,6 h de soleil par an. La plupart des pluies tombent entre mai et octobre, bien que chaque mois voie une moyenne de 4 jours de pluie, avec un pic en juillet à environ 21 jours de pluie.

2.3. Approche

En partenariat avec l'Université des Nations du Yunnan, les détenteurs de connaissances écologiques traditionnelles ont été identifiés et interrogés longuement. Le village choisi était connu pour avoir été fondé par l'ancêtre Hani qui avait été le plus habile à sculpter des terrasses et à appliquer avec succès le système d'irrigation par gravité. Par la suite, une étude approfondie sur le terrain et des entretiens approfondis ont été menés sur place en 2014 par l'intermédiaire d'un interprète originaire de Hani.

2.4. Méthode

Les entretiens approfondis avec les chefs de village ont porté sur l'histoire du peuple et sur la création des rizières en terrasses. Une étude sur le terrain a ensuite été menée en partenariat avec les détenteurs de connaissances locales dans le but de comprendre pourquoi et comment le système fonctionnait. Comme c'est souvent le cas dans les travaux de développement où il y a peu de données, le recoupement avec la littérature scientifique a ensuite été réalisé pour explorer, confirmer ou clarifier les principaux points soulevés dans les données empiriques, avec des données chiffrées, avant de proposer une solution. Cela est tout aussi important pour la nature interdisciplinaire du travail, où les données des Sciences Humaines sont utilisées pour mettre en évidence une problématique des Sciences de la Vie ; l'analyse multidisciplinaire des Sciences de la Vie est ensuite appliquée pour proposer une solution de gestion.

2.5. Cadre analytique

Les méthodes mentionnées ci-dessus ont permis d'émettre l'hypothèse que les nouvelles variétés de riz et pratiques d'irrigation pourraient être responsables à la fois de l'effondrement des rizières et de la réduction du débit des sources observées par les anciens ces dernières années. Une fois que les données des Sciences de la Vie recueillies à partir des entretiens et de l'étude sur le terrain ont été confirmées par recoupement avec la littérature, une comparaison fonctionnelle directe des principaux facteurs de culture du riz a été effectuée sur les anciennes variétés (traditionnelles) et les nouvelles (hybrides). Une carte d'impact comparative multidimensionnelle a ensuite été construite le long des points d'observation des deux types. En outre, une comparaison directe des anciennes et des nouvelles technologies d'irrigation s'est ensuite concentrée simplement sur les taux de percolation observables. Enfin, un modèle hydro-écologique complet avant/après a été construit à partir de l'enquête ethnologique. À partir de là, un schéma des cycles actuels et anciens de recharge des aquifères de montagne est apparue. Les résultats ont ensuite été validés par des experts dans chaque domaine.

3. Résultats

Les résultats suggèrent une forte corrélation entre l'introduction du riz hybride et une amélioration significative de la qualité de vie et de l'espérance de vie (voir tableaux 1 et 2). Ce n'est pas surprenant. Cependant, ce riz apporte plusieurs problèmes environnementaux. Parce qu'il s'agit d'un hybride, il nécessite des pesticides coûteux dont les riz traditionnels se passent (Li et al., 2009). Au fil du temps, les insectes deviennent plus résistants et la plante a besoin d'une plus grande quantité d'intrants pour survivre (Ibid., 22). Plus important encore, il nécessite beaucoup moins d'eau (50%) (Yuan et al., 1989) ; combiné avec une nouvelle technologie d'économie d'eau (Liu et al., 2013 ; Figs 1 –2), cette pratique provoque une forte baisse de l'infiltration d'eau dans le sol, ce qui accroît le risque d'effondrement de certaines terrasses. Des travaux supplémentaires sont cependant nécessaires pour comprendre si ces mêmes phénomènes se produisent dans d'autres régions de terrasses telles que les Philippines ou le Vietnam où le riz hybride est également introduit.

Tableau 1. Comparaison des ressources du riz ancien (naturel) et du nouveau riz (hybride).

Dimension	Vieux	Nouveau	Raisonnement
Quantité disponible pour les humains	–	+	30,8% de rendement moyen supplémentaire(Li et al., 2009)
Quantité disponible pour le fourrage	–	+	Le nouveau plant produit plus de paille (Li et al., 2009)
Quantité disponible pour le combustible	–	+	La paille brûle plus lentement ⁱ
Terres requises	+	–	25 % à 30 % moins de terres requises « <i>Planter trois, produire quatre</i> » (Li et al., 2009)
Eau requise	+	–	50 % moins d'eau requise (Li et al., 2009)
Temps et énergie requis	+	–	Pas besoin de ramasser les tiges et de les attacher ensemble après une tempête pour les sauver. Cependant, l'application de pesticides est requise ⁱ
Intrants non liés à la main-d'œuvre requis	–	+	Semences, pesticides, parfois engrais, plus équipement pour l'application (Li et al., 2009)
Résilience à la sécheresse	–	+	Moins d'eau nécessaire tout au long du cycle (Yuan et al., 1989)
Résilience aux inondations	–	+	Système racinaire fort, feuilles plus épaisses (Li et al., 2009)
Résistance au vent	–	+	Des tiges plus courtes et plus robustes signifient une meilleure résistance au vent (Li et al., 2009)
Utilisations	–	–	Ne convient pas aux nouilles de riz du sud et autres produits agricoles régionaux à forte valeur ajoutée ⁱ

ⁱdonnées empiriques seulement



(a) Infiltration naturelle

(b) Infiltration rendue impossible

Fig. 1. Techniques d'économie d'eau : une simple rigole devient un canal étanche

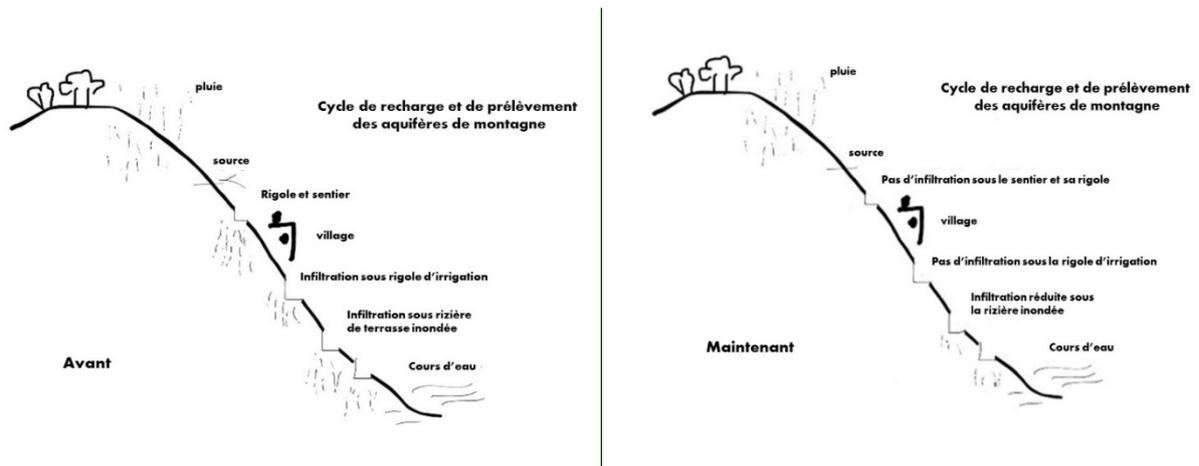


Fig. 2. Schéma de l'infiltration, ancien v. nouveau



Fig. 3. Vue de profil d'une rizière écroulée, là où le sol saturé d'eau devient trop lourd pour le sous-sol desséché sous-jacent



Fig. 4. Vue d'au-dessus d'une autre rizière effondrée

Table 2. Suivi de l'impact, riz traditionnel v. riz hybride

Dimension	Traditionnel	Hybride	Élément considéré	Impact
Impact pour les femmes 	Dégradé	Amélioré	Hybride : Ne pas avoir à « faire tenir le riz debout » et attacher de longues tiges ensemble pour éviter la perte de récolte après une tempête	→ Plus de temps et d'énergie physique disponibles pour le ménage, l'éducation ou d'autres activités génératrices de revenus
Impact pour les hommes 	Dégradé/ Amélioré	Amélioré /Dégradé	Hybride : plus de ressources disponibles Hybride : L'application de pesticides est nécessaire, et habituellement mais pas toujours, par les hommes	→ Les hommes peuvent être plus sereins lorsqu'ils sentent qu'ils subviennent aux besoins fondamentaux de leur famille et à leur avenir. Moins de conflits avec les voisins ou la femme en raison de la rareté des ressources ⁱ → Exposition accrue aux risques pour la santé, liés à l'application de pesticides
Impact pour les enfants 	Dégradé	Amélioré	Traditionnel : Moins de calories, moins de capacité de concentration, moins de ressources disponibles	→ Faim, risque élevé de maltraitance et accès à l'éducation et aux vaccins ⁱⁱ
Filles 	Dégradé	Amélioré	Traditionnel : Plus de tâches domestiques en tant que mères et tantes doivent passer plus de temps dans les champs. Dans les champs autant que possible. Les filles n'étaient souvent envoyées à l'école que s'il y avait surplus de ressources disponibles pour le faire ou n'étaient envoyées qu'une fois finis les travaux des champs .	→ Beaucoup de temps passé et d'énergie, augmentation des maltraitances potentielles de la part de parents affamés, accès limité ou inexistant à l'éducation ⁱⁱ
Garçons 	Faible à nul	Amélioré	Hybride : Meilleur apport de calories	→ Risque plus faible de maltraitance de la part de parents affamés

Personnes âgées 	Dégradé	Amélioré	Traditionnel : Moins de calories, de ressources, se sentir comme un fardeau	→ Famine, dépression, espérance de vie réduite
Faim 	Dégradé	Amélioré	Hybride : Plus de calories disponibles	→ La faim animale et humaine satisfaite, à tous les âges
Opportunités économiques 	Dégradé	Amélioré	Hybride : Résultats du tableau 1	→ Plus de temps, d'énergie et de ressources sont disponibles pour l'éducation ou d'autres activités génératrices de revenus
Protéines animales 	Dégradé	Amélioré	Hybride : Plus de paille et des feuilles plus épaisses et nombreuses	→ Les animaux sont satisfaits et ont plus de fourrage disponible, ce qui améliore le poids, l'espérance de vie et la capacité de reproduction. Tout cela se traduit par une augmentation de la quantité de viande disponible pour la communauté.
Ecologie 	Amélioré	Dégradé	Hybride : Recharge des aquifères modifiée Plus d'intrants chimiques nécessaires	→ Stabilité réduite du sol → Microbiologie du sol touchée
Santé Humaine 	Amélioré/ Dégradé	Dégradé / Amélioré	Traditionnel : Moins ou pas de produits chimiques nécessaires Moins de calories mises à disposition pour la consommation humaine et animale Hybride : Pesticides à appliquer manuellement	→ Moins d'exposition aux produits chimiques nocifs → Mais moins de calories disponibles → Exposition accrue aux pesticides Mais plus de calories disponibles

			Plus de nourriture disponible pour la consommation	
--	--	--	--	--

Source des données : Enquête de l'auteur. Les répondants étaient des chefs de village, invités à raconter comment leur peuple est arrivé dans cette montagne et comment les rizières en terrasses ont été construites.

ⁱ Enquête nationale sur le bien-être des enfants et des adolescents, 2005. Exemple de rapport d'analyse des données de la vague 1 de la SCP. Extrait de :

http://www.acf.hhs.gov/programs/opre/abuse_neglect/nscaw/reports/cps_sample/cps_report_revised_09010_5.pdf

ⁱⁱ données empiriques

4. Discussion

4.1. Implications pour les systèmes humains et naturels locaux

Un volume significativement moindre d'eau disponible à la surface signifie que les sous-couches du sol de rizière ¹ peuvent ne plus être suffisamment humides, et suffisamment en profondeur, pour empêcher l'effondrement de la terrasse sur celle du dessous (Fig. 3 et 4). Lorsqu'une rizière s'écroule, cela affecte souvent les moyens de subsistance de plus d'une famille. De plus, cette réduction des eaux de surface disponibles a un impact sur la capacité de l'aquifère de montagne local à reconstituer les débits des sources. ² Or, sans les eaux de source, tout le système d'irrigation naturel s'effondre, ainsi que l'approvisionnement communautaire en eau potable et domestique. En effet, les systèmes naturels et humains dépendent actuellement du renouvellement de ce cycle.

¹ Classification chinoise : *Latosol haplique*. FAO-UNESCO : *Cambisol ferrallique*. Pour plus d'explications, voir : Vogel, A.W., Wang, M., Huang, X., 1995. République populaire de Chine : Sol de référence (« Latosol ») du sud tropical de la province du Yunnan. *Soil Brief, Chine 2*. Institut des sciences du sol - Academia Sinica, Nanjing, et Centre international de référence et d'information sur les sols, Wageningen. p. 17.

² Certains aînés ont aussi signalé spontanément que la source avait produit moins ces dernières années.

4.2. Ce qui peut être fait

Cependant, le simple retour à l'ancien système peut ne pas être bénéfique, car le riz hybride a eu un impact positif sur de nombreux aspects de la vie (Tableau 2).

4.2.1. Une voie à suivre

Il est probable que l'on ne puisse pas modifier les régimes pluviométriques ou l'exode actuel, mais on peut améliorer la résilience de l'agrosystème en renforçant le sol. Lors de conversations de suivi avec les dirigeants en novembre 2019, les villageois ont fait part de leur principale préoccupation consistant à « découvrir ce qui cause les catastrophes causées par les maladies et les ravageurs sur le riz hybride et comment les prévenir ». À notre avis, les trois questions (effondrement, résistance réduite aux ravageurs et aux maladies) peuvent être abordées simultanément. En étendant l'agroforesterie locale et en cultivant en même temps et à des endroits stratégiques les anciennes et les nouvelles variétés de riz, la résilience peut être rétablie dans les terrasses sur plusieurs fronts à la fois. L'occurrence de l'écroulement

pourrait être réduite, et l'augmentation de la biodiversité pourrait aider à réduire les attaques de ravageurs et de maladies et, par conséquent, à réduire l'utilisation de produits chimiques et la pression qui en découle sur l'écosystème. Tous ces éléments réunis pourraient améliorer⁴ la viabilité à long terme des rizières de terrasses et de l'agriculture vivrière dans la région.

4.2.2. Intensification de l'agroforesterie à des endroits stratégiques

L'intensification de l'agroforesterie peut également aider à stabiliser le sol (Wang et al., 2011). Les arbres intercalés avec les cultures ont longtemps été un moyen d'améliorer la rétention d'humidité du sol et a structure en plaine, mais ils sont moins souvent pris en compte pour l'agriculture sur les versants. Cela pour différentes raisons, mais ces pratiques peuvent réussir en appliquant une gestion normale des arbres (c.-à-d. taillis, replantation lorsqu'ils sont vieux, malades ou trop lourds). Lorsque les arbres deviennent trop gros, ils peuvent être coupés pour le bois de chauffage ou taillés pour apporter les matériaux nécessaires à la fabrication de paniers, de tabourets ou d'autres revenus alternatifs de grande valeur. S'ils sont plantés à des endroits stratégiques tels que des points clés le long de lignes clés (voir Matériel supplémentaire), leurs racines pourraient également aider à prévenir l'érosion du sol en agissant comme un dispositif de rétention (Mars, 2003).

4.2.3. Culture intercalaire d'anciennes et de nouvelles races de riz à des endroits stratégiques

L'ancienne variété de riz (locale) bénéficie d'un marché stable et est capable de stabiliser la rizière tout au long du cycle de croissance en la maintenant suffisamment humide, assez profondément et assez longtemps. Planté à des endroits stratégiques, il peut également empêcher l'effondrement d'autres terrasses hybrides mitoyennes (voir Matériel supplémentaire pour un exemple de carte de plantation). Plantée à proximité, l'ancienne variété peut également être en mesure de soutenir le système immunitaire de la nouvelle (hybride).

4.2.4. Plus forts ensemble

La présence combinée d'arbres, du vieux riz, du nouveau riz, du maïs, du soja, du thé et d'autres fruits et légumes plantés à des endroits stratégiques peut aider à produire la densité de biodiversité nécessaire pour maintenir la richesse du sol, les cultures fortes et saines et mieux à même de résister aux ravageurs et aux maladies (Brussaard et al., 2007, Xu et al., 2017). Les avantages ultérieurs de ce renforcement stratégique combiné pourraient être renforcés : augmentation de la biodiversité, résilience au changement climatique, revenus diversifiés et moyens de subsistance plus sûrs. Ce qu'il faut maintenant, c'est une stratégie et une planification pour améliorer l'impact positif. Davantage de travail interdisciplinaire est nécessaire pour suivre les avancées apportées par ces solutions, en s'appuyant sur une analyse quantitative et des observations de terrain.

4.2.5. Dans l'intervalle

Étant donné que les solutions susmentionnées mettent du temps à produire leurs effets, des solutions à court et à moyen terme peuvent également être nécessaires lors de la mise en œuvre des stratégies à long terme. Nous pensons qu'il peut être utile d'étudier si d'autres régions du monde où le même riz hybride est cultivé, subissent des effets similaires, ou si le « tiercé gagnant » des semences, de l'irrigation et de la dynamique de migration sur ce type de sol est exclusif à la zone d'étude.

4.2.6. Affirmer que les connaissances écologiques traditionnelles locales sont une ressource

Le peuple Hani sait comment et où diriger les cours d'eau le long des versants escarpés pour optimiser l'infiltration et pour empêcher les terrasses de tomber (c.-à-d. qu'ils comprennent le rôle des andains, de l'infiltration, de la saturation, de la pente et du drainage). Ils savent aussi qu'il faut garder son champ inondé pour l'empêcher de s'écrouler. Ils disposent d'espèces d'arbres appropriées et sont généralement conscients de la façon dont la biodiversité apporte une plus grande stabilité écologique. Les populations locales utilisent déjà le fumier de buffle pour améliorer la fertilité et labourent les mauvaises herbes pour les enfouir dans le sol pour en améliorer la structure. Ils savent également comment et quand réguler les niveaux d'eau dans leur ancien système d'irrigation gravitaire. Il semble qu'avec l'introduction de telles innovations, des populations locales ont perdu confiance en leur propre savoir des systèmes écologiques locaux. Une stratégie clé peut simplement consister à réaffirmer ce qu'ils savent déjà.

5. Conclusions

Dans cet article, les risques liés à l'utilisation de riz hybride dans les rizières en terrasses de Honghe Hani ont été étudiés à l'aide d'une enquête détaillée. Dans le cadre de l'enquête sur le terrain, les chefs de village ont été interrogés pour savoir comment les Hani sont venus dans ces montagnes et comment ils ont initialement sculpté les terrasses et construit un système d'irrigation autonome. Ces données, ainsi que la comparaison avec l'état de l'art, montrent que le nouveau riz hybride a considérablement amélioré la qualité de vie des Hani ainsi que leur espérance de vie. Cependant, il semble également menacer dans une certaine mesure le cycle hydrologique naturel de l'environnement régional. Des travaux supplémentaires sont nécessaires pour confirmer si ces mêmes menaces sont présentes dans d'autres régions de rizières en terrasses telles que les Philippines ou le Vietnam, où le riz hybride est également utilisé. Nous avons proposé plusieurs pratiques de gestion agricole innovantes à des endroits stratégiques qui peuvent aider à soutenir les rizières en terrasses dans la région. L'amélioration de la biodiversité, l'intensification de l'agroforesterie, la culture intercalaire de différentes variétés de riz, les cultures alternatives et l'affirmation des connaissances écologiques locales en tant que ressource pourraient améliorer la viabilité à long terme des terrasses de riz hybrides et des pratiques de culture de versant pour l'agriculture de substances de montagne. Des recherches plus approfondies sont nécessaires pour assurer le suivi des réussites éventuelles des solutions proposées.

Déclaration éthique.

L'approbation éthique n'était pas requise pour cette étude puisque les participants ont été informés et rassurés conformément à la législation locale et aux exigences institutionnelles. Tous les résultats de cette recherche ont été acquis conformément aux principes de la Déclaration d'Helsinki sur la recherche sur des sujets humains. La participation à cette enquête était anonyme et volontaire, assurant le consentement des répondants potentiels avant la participation. Les données accumulées pour cette recherche ont été traitées de manière confidentielle.

Déclaration d'intérêts concurrents

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont pas d'intérêts financiers concurrents connus ou de relations personnelles qui auraient pu sembler influencer le travail rapporté dans le présent document.

Remerciements

L'auteure tient à remercier Caleb Chu, Érine Gagnon et Marilyn McComb Kahn pour leur assistance linguistique, les Drs Geng Yi, Shizhou Yang et Xiaoqin Dao de l'Université des nationalités du Yunnan pour leur aide à la coordination de la collecte de données, et le Prof. Xiaoyun Zheng du Yunnan Think Tank pour son orientation vers le contexte ethno-politique de l'histoire de l'eau et les pratiques de gestion dans la région.

Documents supplémentaires

Les documents supplémentaires originaux associés à cet article peuvent être téléchargés, dans la version en ligne, à l'adresse doi: [10.1016/j.geosus.2022.11.002](https://doi.org/10.1016/j.geosus.2022.11.002). **VF : Voir annexes ci-jointes**

Références

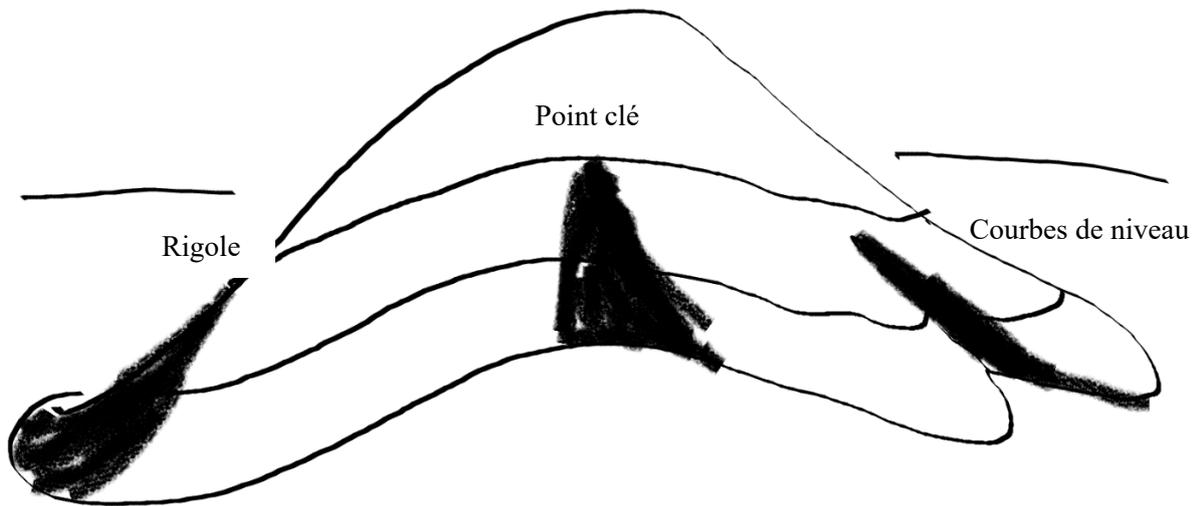
- Brussaard, L., de Ruiter, P.C., Brown, G.G., 2007. *Soil biodiversity for agricultural sustainability*. *Agric., Ecosys. Environ.* 131 (3), 233–244.
- Li, J., Xin, Y., Yuan, L., 2009. *Hybrid Rice Technology Development: Ensuring China's Food Security*. International Food Policy Research Institute (IFPRI) IFPRI Discussion Paper 00918.
- Liu, J., Zang, C., Tian, S., Liu, J., Yang, H., Jia, S., You, L., Liu, B., Zhang, M., 2013. *Water conservancy projects in China: Achievements, challenges and way forward*. *Glob. Environ. Change* 23 (3), 633–643.
- Mars, R., 2003. *The Basics of Permaculture Design*. Permanent Publications, UK, pp. 86–87 91.
- Wang, Y., Zhang, B., Lin, L., Zepp, H., 2011. *Agroforestry system reduces subsurface lateral flow and nitrate loss in Jiangxi Province, China*. *Agric. Ecosys. Environ* 140 (3–4), 441–453.

Xu, H., Yang, Y., Lu, Y., Zheng, X., Tian, J., Lai, F., Fu, Q., Lu, Z., 2017. *Sustainable management of rice insect pests by non-chemical technologies in China*. *Rice Sci.* 24 (2), 61–72.

Yuan, L.P., Virmani, S.S., Mao, C.X., 1989. *Hybrid rice: Achievements and outlook*. In: Poolard, L.R., Cervantes, E. (Eds.), *Progress in Irrigated Rice Research*. International Rice Research Institute, P.O. Box 933, Manila, Philippines, pp. 219–235 1989.

Annexe A :

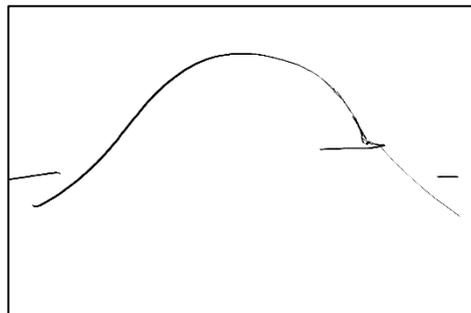
Illustrations des concepts de permaculture cités



Courbe de niveau : ou isohypse, ligne imaginaire qui réunit les points de même altitude.

Point clé : Point d'inflexion où la pente du versant passe de concave à convexe.

Rigole : chenal creusé le long d'une courbe de niveau, qui permet à l'eau de s'infiltrer dans le versant au lieu de s'écouler sur celui-ci. Ex:



Pour plus d'informations: The Basics of Permaculture Design by Ross Mars. UK: Permanent Publications, 2003 pp. 86,87, 91.

Annexe B :

Schéma pour la plantation stratégique

