



Available online at <http://www.ifgdg.org>

Int. J. Biol. Chem. Sci. 17(4): 1643-1661, June 2023

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

International Journal
of Biological and
Chemical Sciences

Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Légumineuses, Agroforesterie, Labour et Pâturage : les déterminants de la diversité des systèmes de culture à Saint-Raphaël, Haïti

Weldenson DORVIL^{1,2*}, Cathy CLERMONT-DAUPHIN², Jean-Luc CHOTTE²,
Jean-Marie THÉODAT³, Hérauld MUSEAU¹ et Michel BROSSARD²

¹ Université d'État d'Haïti, Campus Henry Christophe de Limonade. 1130, Rte Nationale # 6 Limonade, Haïti

² IRD Eco&Sols, CIRAD, INRAE, Institut Agro, IRD, Montpellier, France.

³ Université d'État d'Haïti, Faculté des sciences, URBAteR, URBALaB, Angle Rues Joseph et Mgr Guilloux, Port-au-Prince, Ouest, Haïti.

*Auteur correspondant ; E-mail: dorwely04@yahoo.fr, weldenson.dorvil@supagro.fr; Tel. : +33667783620.
+50936099793

Received: 03-04-2023

Accepted: 25-06-2023

Published: 30-06-2023

RÉSUMÉ

En vue d'évaluer l'impact des pratiques agricoles sur les sols, les approches d'expérimentation de longue durée et de simulation à partir de modèles numériques sont de plus en plus fréquentes. Cependant, dans le contexte des pays du Sud, elles sont souvent difficiles à mettre en œuvre, faute de moyens. Cette étude avait pour objectif de décrire la diversité des systèmes (SC) de culture rencontrés dans une petite région d'altitude d'Haïti, afin d'utiliser ces connaissances, pour raisonner dans une deuxième étape, un dispositif d'évaluation « on-farm » de leurs effets sur les sols. Le concept de système de culture met en avant les interactions fortes existant entre les décisions techniques que prennent les agriculteurs sur leurs parcelles, aussi bien en termes de successions et associations culturales, de gestion de leur disponibilité en nutriments et en eau, et de contrôle des bioagresseurs des cultures. Notre étude s'était appuyée sur 78 parcelles d'agriculteurs sélectionnées avec l'aide de personnes ressources de la région, pour représenter la diversité des unités pédo-bioclimatiques. Chaque parcelle a fait l'objet d'une enquête auprès de son exploitant en vue de décrire ses choix techniques de ces 10 dernières années. On a mis en évidence la coexistence de quatre systèmes de culture (SC) : un système intensif (SI), un système semi-intensif (SSI), un système agroforestier (SA) et un système de pâturage permanent (SSU). Ils étaient répartis suivant le pédoclimat avec le SI dominant dans le périmètre irrigué, le SSI dans le plateau non irrigué, le SA dans les vallées et le SSU dans les versants. Le labour n'était absent qu'en SSU. Les indicateurs de ces systèmes étaient facilement accessibles et peuvent être mobilisés en vue de raisonner un dispositif d'évaluation des performances agro-environnementales des pratiques des agriculteurs et concevoir des améliorations de gestion. © 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés: Typologie, Pratiques, Changements d'usage des terres, Sols, Rotations des légumineuses

Legumes, Agroforestry, ploughing and pasture: determinants of the cropping systems diversity in Saint-Raphael, Haiti

ABSTRACT

In order to assess the impact of agricultural practices on soils, long-term experimental and simulation approaches based on numerical models are becoming increasingly common. However, in the context of Southern countries, they are often difficult to implement due to lack of financial resources. The objective of this study was

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

9404-IJBSC

DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i4.28>

to describe the diversity of cropping systems (SC) encountered in a small highland region of Haiti, in order to use this knowledge to reason, in a second step, an "on-farm" evaluation system of their effects on soils. The concept of cropping systems highlights the strong interactions between the technical decisions that farmers make on their plots, both in terms of crop succession and associations, management of nutrient and water availability, and control of crop pests. Our study was based on 78 farmers' plots selected with the help of resource persons in the region, to represent the diversity of soil-bioclimatic units. Each plot was surveyed to describe the technical choices made by the farmer over the last 10 years. Four cropping systems (SC) were found to coexist: an intensive system (SI), a semi-intensive system (SSI), an agroforestry system (SA) and a permanent pasture system (SSU). They were distributed according to the pedoclimate, with the SI system dominating in the irrigated perimeter, the SSI system in the non-irrigated plateau, the SA system in the valleys and the SSU system on the slopes. Plowing was absent only in SSU. The indicators of these systems were easily accessible and can be used to reason out an evaluation system of the agro-environmental performance of farmers' practices and to design management improvements.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Typology, Practices, Land use change, Soils, Legume rotations

INTRODUCTION

En Haïti, les changements d'usages des terres ont affecté de grandes superficies. Au cours de la période 1985-2018 la surface de la couverture forestière naturelle a diminué de 46 à 50% selon les régions. Les statistiques indiquent que la couverture forestière occupe moins de 5% de la surface agricole utile (Salomon et al., 2021). En effet, de 2001 à 2017, Haïti a perdu près de 58900 ha de couvert forestier (MDE, 2019). Cette dernière décade a été marquée par de longues périodes de sécheresse entraînant une baisse du niveau des nappes phréatiques, la compaction de la surface du sol et le déclin des espèces cultivées (PAM, 2023). Le nombre de saisons culturales est passé de trois à deux dans les agrosystèmes de plaine ou de plateau et, à une seule saison sur les versants. Les terres positionnées dans les périmètres irrigués sont surexploitées. Les surfaces en jachères ont régressé et leur surpâturage est de plus en plus fréquent.

Tous ces changements sont liés en partie à l'accroissement de la pression démographique. En 2008, 103624 exploitations agricoles étaient inventoriées dans le département du Nord (MARNDR, 2012). Aujourd'hui, Saint-Raphaël, l'une des

19 communes du Nord en compte à elle seule près de 53755 habitants pour 183 km², soit 294 habitants au km² (IHSI, 2015). Globalement, depuis 1950, Haïti subit une dégradation accélérée de son espace rural et de ses ressources naturelles (Smolikowski, 1993).

Dans le cadre des systèmes de culture actuels la FAO et l'ITPS (2015) rapportent pour les régions tropicales une diminution de la capacité des sols à conserver leur biodiversité et à maintenir leur structure. De plus, de nombreuses expérimentations réalisées au niveau de la ceinture tropicale ont montré que différentes techniques comme le labour (McGarry et al., 1999 ; Clermont-Dauphin et al., 2004 ; Kushwaha et Singh, 2005 et Masson et al., 2022), l'agroforesterie (Sileshi, 2016), l'apport de matière organique (Toukara et al., 2020), la fréquence des légumineuses dans les rotations avec les céréales (Clermont-Dauphin et al., 2003), la couverture du sol par les résidus de culture (Adams et al., 2016), la mise en jachère (Brown et al., 1999 ; Samaké et al., 2006) peuvent avoir un rôle essentiel sur le maintien des ressources du sol. Mais elles suggèrent aussi que ces effets peuvent être très dépendants des caractéristiques pédo-bioclimatiques ainsi que des autres techniques

associées. Face à l'insuffisance des connaissances sur les interactions en jeu dans les systèmes de culture, et à la complexité de ces interactions dans les agricultures à faible niveau d'intrants des pays du Sud, les perceptions des agriculteurs peuvent être d'une grande utilité pour aider à cerner une typologie qui tienne compte de ces interactions et leurs effets sur les sols à l'échelle locale.

Ainsi, nous testons l'hypothèse qu'il existe à Saint-Raphaël une diversité de systèmes de culture (SC) qui se caractérisent, non seulement par les espèces présentes, mais aussi par la diversité des modes de conduite de ces espèces depuis une dizaine d'années, et par leur position dans le paysage. L'objectif de cette étude était de réaliser une typologie des SC, en tirer des enseignements sur les pratiques actuelles et mettre cela en perspective de travaux futurs de meilleure gestion des sols et des terres.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Zone d'étude

Saint-Raphaël se divise en quatre sections communales : Bois Neuf et Mathurin situées dans les reliefs du Nord et, Bouyaha et Sanyago situées majoritairement sur un plateau à environ 400 m d'altitude (Figure 1). Ces deux dernières comprennent 2350 ha de terres irriguées. Le Tableau 1 révèle une surface agricole très faible par exploitation agricole. Les surfaces de déprises agricoles et les savanes représentent respectivement 19% et 14%.

Situé dans le nord de l'arc caribéen, le climat, de type tropical Aw maritime, tempéré et uniformisé par l'alizé (Peel et al., 2007), est chaud et humide avec deux saisons contrastées : une saison pluvieuse allant d'avril-mai à septembre-octobre et une saison sèche allant d'octobre-novembre à avril. La région est soumise aux cyclones. L'altitude et l'exposition aux vents dominants contrôlent la pluviosité. La température moyenne

journalière pour l'année 2020 était de 27°C et a varié de 23 à 32°C. La pluviométrie moyenne totale enregistrée par la station du bureau agricole de Saint-Raphaël (19°17'51,02 N, 72°04'15,17 O) de 2002 à 2021 est de 1098 mm suivant une variation de 669 mm en 2011 à 1415,8 mm en 2017 (Figure 2). La couverture pédologique est constituée d'Alisols, de Leptosols et de Régosols de type calcaire, de Vertisols et de Gleysols et de Rendosols.

Matériels

Matériels de terrain

- Fiche d'enquête pour la collecte des informations ;
- Tarière pour le prélèvement des échantillons de sols dans l'objectif de bien caractériser préalablement les classes de sols ;
- Machette/coutelas/couteau pour ouverture de petites fosses pour décrire les sols et évaluer la porosité ;
- Planche rapporteur pour mesurer la pente des terrains ;
- Récipient en plastique pour préparer les composites ;
- Sachet Zip transparent pour l'emballage et l'identification des échantillons composites ;
- Sachet De transport ;
- Récepteur GPS pour les coordonnées géographiques des 78 parcelles ;
- Marqueurs pour identifier les échantillons ;
- Eprovette de 500 ml pour mesurer le volume d'eau, utilisée pour réaliser quelques mesures de densité apparente au préalable (toujours dans l'objectif de caractériser les sols) ;
- Gallon pour apporter de l'eau ;
- Téléphone/caméra pour la prise des photos.

Matériels de laboratoire

- Balance électronique pour peser les échantillons de sol ;
- Mortier et pilon pour le broyage des sols ;

- Tamis de 2 mm et de 180 µm) : pour tamiser les sols en vue d'extraire les particules grossières (> 2 mm) ;
- Etuve pour sécher à 105°C les échantillons de sols ;
- Conductimètre et pH-mètre pour déterminer la conductivité électrique et le pH du sol ;
- Hydromètre et dessiccateur pour déterminer la texture du sol.

Méthode

Les enquêtes

Choix des parcelles d'enquêtes

Le bureau agricole communal nous a introduits auprès des personnes ressources (Responsables d'associations et de Sections communales) qui, à leur tour, nous ont indiqués des agriculteurs ayant une bonne connaissance de la région et de son histoire. Ils étaient en général parmi les plus âgés de la région. La réalisation de quatre visites de terrain avec ces agriculteurs et de quatre ateliers d'échanges ainsi que l'examen des matériels collectés par ailleurs (cartographie des caractéristiques environnementales, photographies aériennes) nous ont permis de sélectionner 78 parcelles représentant la diversité des combinaisons entre les caractéristiques morphopédologiques, les successions culturales et les conduites de cultures (Figure 3).

Description des systèmes de culture (SC)

Notre description des SC pratiqués sur chacune des parcelles sélectionnées est tirée de Sebillotte (1978) qui définit un SC par les successions culturales et les itinéraires technique associées aux cultures pratiquées sur une parcelle ou un groupe de parcelles conduit

de manière homogène. Un formulaire d'enquête axé sur l'ensemble des variables servant à renseigner les systèmes de culture a été administré à chacun des agriculteurs des 78 parcelles. Les variables retenues pour décrire les SC sont rapportées dans le Tableau 2 et sont au nombre de 10. L'irrigation n'a pas été sélectionnée directement pour éviter des effets de redondance.

Connaissances et perceptions de la gestion des sols par les agriculteurs

Dans nos enquêtes, un intérêt particulier a été également porté sur l'importance relative des sols et des pratiques culturales. La méthode de distribution des petits cailloux a été appliquée, méthode d'évaluation de l'importance relative suggérée par Sheil et al. (2004) à partir des entretiens dirigés. Nous avons cherché à déterminer la place que joue le sol dans la logique d'action des agriculteurs (questionnaire en annexe).

Analyses statistiques

10 variables de caractérisation des SC ont été sélectionnées et transformées en variables catégorielles. Une analyse des correspondances multiples (ACM) a été réalisée afin de mettre à jour 1) les variables de caractérisation des systèmes de culture discriminant le mieux les parcelles, 2) les relations entre ces variables et 3) la position des individus par rapport à ces variables. Plusieurs groupes de parcelles caractérisés par l'association de plusieurs pratiques ont été ainsi caractérisés définissant donc une typologie des systèmes de culture. Le logiciel STATISTICA 7 a été utilisé (Hilbe, 2007).

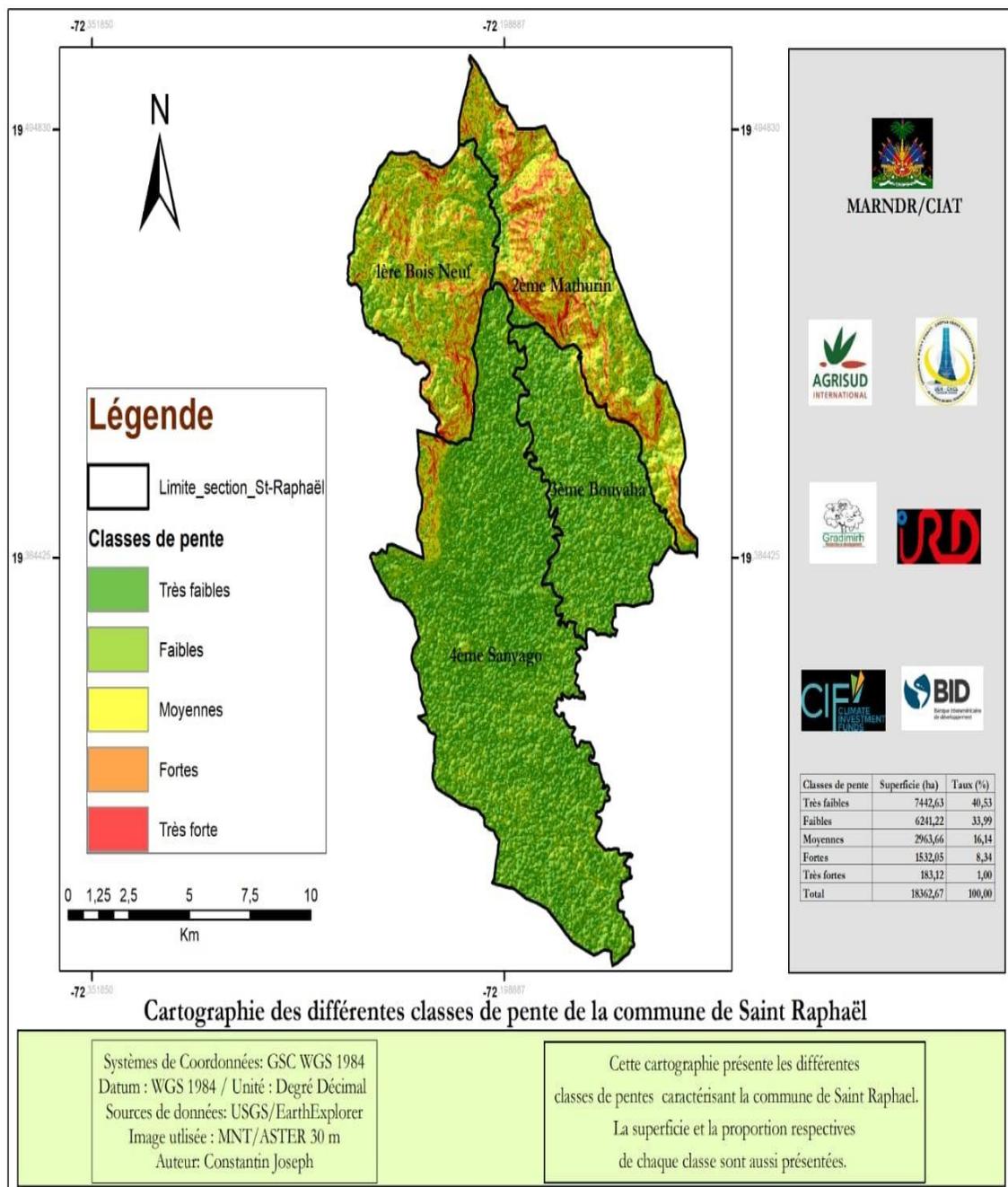


Figure 1: Distribution des quatre sections administratives de Saint Raphaël et cartographie des différentes classes de pente: très faibles < 6 %, faibles 6-12 %, moyennes 13-20 %, fortes 20-50 %, très fortes > 50 % (CHCL et al., 2020).

Tableau 1: Descriptif agricole des sections communales et principales espèces cultivées. Les deux dernières colonnes entre parenthèses présentent le % de terres emblavées par culture.

Section Communale	superficie totale (ha)	Sols (WRB, 2014)	Densité population Hab.km ⁻² (IHSI, 2015)	Nombre d'EA	% Surface arborée / végétation naturelle	% Surface irriguée	Taille moyenne des EA (ha)	Surface moyenne cultivée par EA (ha)	Terre cultivée (% aire totale)	Cultures (% en terres cultivées)	
										annuelles (%)	Agro forêts (%)
Bois Neuf	3174,66	Régosols, Leptosols,	163	2750	9	0	1,52	0,8	37	Pois Congo (30) Maïs (30) Haricot (30) Gombo (5)	Igname (30) Banane (30) Haricot-maïs (30) Pois-congo (5)
Mathurin	3771,71	Alisols, Régosols, Leptosols	98	1200	12,5	0	1,26	0,7	16	Pois Congo (30) Haricot (25) Maïs (25) Gombo (10) Epinard (5)	Igname: (25) Banane: (25) Haricot-maïs (25) Pois-congo (15) Cacaoyer (5)
Bouyaha	3024,76	Leptosols, Rendosols, Vertisols	243	3700	12	3	1,32	0,75	58	Canne-à-sucre (35)* Pois Congo (15) Maïs (15) Maraîchères (15) Riz (10) * Haricot (5)	Igname (25) Banane (20) Maïs (15) Canne-à-sucre (15)* Haricot (10) Pois-congo (5) Gombo (3) Épinard (2)

Sanyago	8414,17	Vertisols, Gleysols,	237	10350	5	28	1,35	0,45	59	Maraichères (75)* Riz (15)* Pois-congo (5)	Igname (20) Banane (20) Maïs (20) Haricot (10) Pois-congo (5) Giraumont (5) Épinard+gombo (5) Haricot (5) Cacaoyer (3) Pois boussoucou (2)
---------	---------	-------------------------	-----	-------	---	----	------	------	----	--	---

. * : cultures pratiquées en pur ; EA : exploitation agricole. Outre le *Theobroma cacao*, les ligneux constituant la diversité des espèces pérennes en agro forêt sont : *Mangifera indica*, *Catalpa longissima*, *Persea americana*, *Swietenia macrophylla*, *Artocarpus altilis*, *Samanea saman*, *Terminalia catalpa*, *Simaruba glauca*, *Ura crepitans*, *Roystonea borinquena* et *Anona squamosa*.

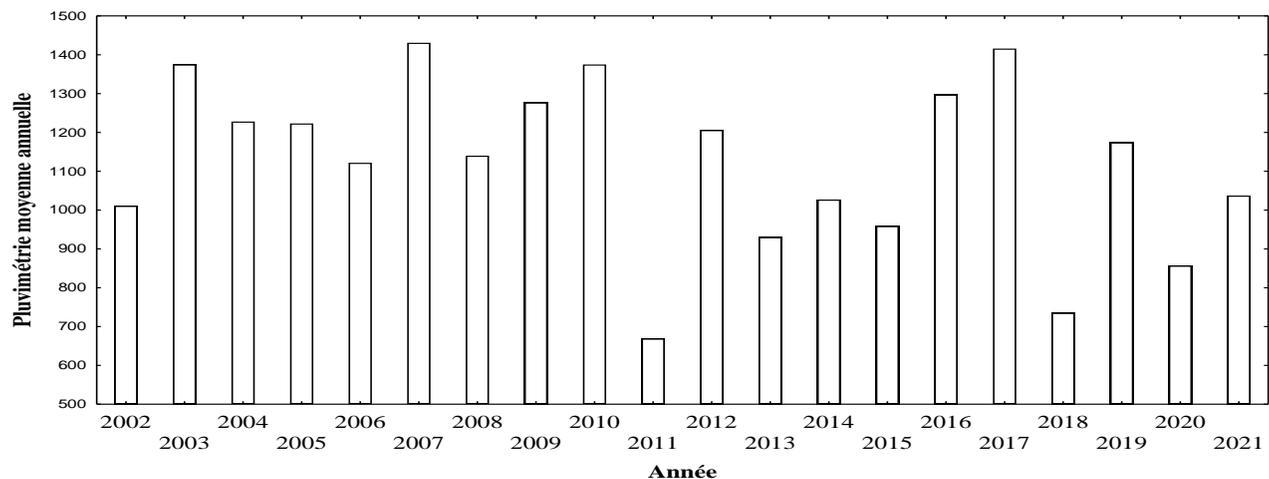


Figure 2: Pluviométrie moyenne annuelle de la commune de Saint-Raphaël (2002-2021).

Tableau 2: Répartition des parcelles en fonction des critères choisis (10) pour classer les systèmes de culture.

Variables d'étude des Systèmes de culture	Notes	ID de la classe	Parcelles	% parcelle	Unité
Fréquence des labours sur 10 ans					
[0]	1	Lab1	12	15%	Nombre moyen / 10 ans
[1 à 10]	2	Lab2	25	32%	
[11 à 20]	3	Lab3	25	32%	
[21 à 30]	4	Lab4	16	21%	
Fréquence de légumineuses sur 10 ans					
[0 à 5]	1	Lég1	12	15%	Nombre moyen / an
[6 à 20]	2	Lég2	20	26%	
[21 à 30]	3	Lég3	26	33%	
[31 à 50]	4	Lég4	20	26%	
Nombre d'espèces associées sur 10 ans					
[0-10]	1	Esp1	11	14%	Nombre moyen / an
[11 à 30]	2	Esp2	16	21%	
[31 à 60]	3	Esp3	23	29%	
[61 à 90]	4	Esp4	28	36%	
Nombre de cultures associées sur 10 ans					
[0-10]	1	Ass1	11	14%	Nombre moyen / an
[11 à 30]	2	Ass2	23	29%	
[31 à 60]	3	Ass3	28	36%	
[61 à 90]	4	Ass4	16	21%	
Durée de la jachère / 3-120 mois					
[0 à 2]	1	Jach1	40	51%	Mois
[3 à 6]	2	Jach2	27	35%	
[60-120]	3	Jach3	11	14%	
Fréquence d'apport de matière organique l'an					
[1 à 2,5]	1	MO1	16	21%	Echelle de 1 à 10
[3 à 5]	2	MO2	24	31%	
[6-7,5]	3	MO3	18	23%	
[8-10]	4	MO4	20	26%	
Dose moyenne annuelle d'engrais chimique					
[0 Kg]	1	Eng1	40	51%	Kg/ha/an
[40 à 265]	2	Eng2	19	24%	
[270 à 1636]	3	Eng3	19	24%	
Nombre des rotations sur 10 ans					
[0]	1	Rot1	12	15%	Nombre / 10 ans
[2 à 4]	2	Rot2	20	26%	
[5 à 6]	3	Rot3	19	24%	
[7 à 10]	4	Rot4	27	35%	
Dose moyenne annuelle de pesticide pur					
[0]	1	Pest1	11	14%	

[1 à 9]	2	Pes2	24	31%	1 ha ⁻¹ an ⁻¹
[10 à 15]	3	Pest3	20	26%	
[16 à 36]	4	Pest4	23	29%	
Nombre d'arbre par ha					
[1 à 5]	1	Arbre1	17	22%	Nombre/ha
[6 à 9]	2	Arbre2	24	31%	
[10 à 15]	3	Arbre3	20	26%	
[26 à 36]	4	Arbre4	17	22%	

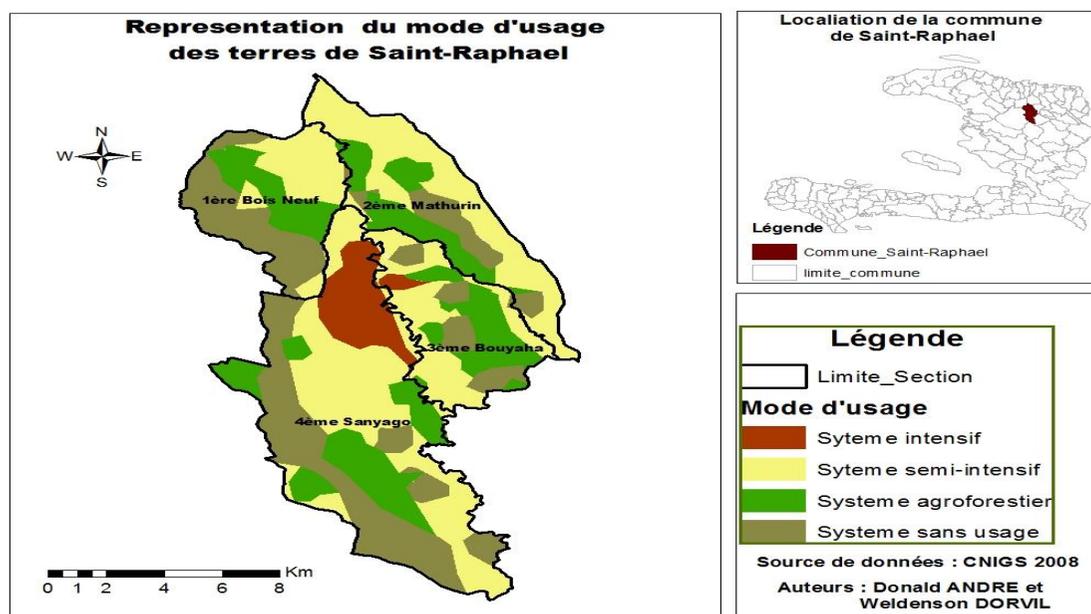


Figure 3: Cartographie des systèmes de culture.

RÉSULTATS

Typologie des systèmes de culture (SC)

Le Tableau 3 présente la distribution des fréquences de 10 variables retenues pour caractériser les SC. Les catégories correspondant à chacune sont affectées d'un sigle qui sera repris dans l'analyse des correspondances. La Figure 4 présente les variables de caractérisation des SC au plan factoriel F1-F2 de l'ACM. Les deux axes expliquent 44,46% de la variance totale de l'échantillon. La Jachère, la pratique des légumineuses, la rotation culturale, l'apport en matière organique (MO) au sol et la diversité des espèces contribuent à l'axe 1 tandis-que l'axe 2 se traduit par les variables pesticides, fertilisation, le labour et l'association culturale.

On observe en tout premier lieu un axe diagonal qui sépare le système de pâturage permanent (SSU) des trois autres systèmes échelonnés de bas en haut selon un axe d'intensification se traduisant par baisse de diversification croissant. Il est possible de distinguer quatre profils types de SC correspondant à 4 groupes.

- Le groupe (G1) se discrimine par un nombre élevé d'espèces pérennes sur la parcelle, la diversité des espèces, du nombre de légumineuses et d'apport de matière organique le plus important. Nous l'appelons « système agroforestier (SA) ». Ce groupe est généralement proche de la maison de l'exploitation familiale et est de type A.

- Un groupe (G2) situé sur l'axe 1 dans le cadran inférieur, caractérisé par un niveau d'intrants et de labour à la baisse par rapport au groupe G1. C'est un groupe intermédiaire entre G1 et G4. Nous l'appelons « système semi-intensif (SSI) ». Ce groupe est généralement plus ou moins proche des exploitations familiales et est de type B.
- Un groupe (G3) situé à l'axe 2 dans le cadran supérieur à droite du plan 1, 2. Ce groupe se discrimine par le labourage et l'usage intensif des engrais et des pesticides. Nous l'appelons « système intensif (SI) ». Il est caractérisé par le travail intensif du sol, l'irrigation par gravité, les brulis des résidus de récolte se traduisant par une faible restitution organique, la forte utilisation d'intrants chimiques et une interculture courte (un mois) avec le retour occasionnel des légumineuses. Ce groupe n'a aucun lien de proximité avec la maison de l'exploitation familiale. Il est situé au périmètre irrigué et de type C.
- Un groupe (G4) situé à l'opposé, dans le cadran supérieur gauche. Ce groupe se discrimine par le pâturage car ce sont en général des parcelles non cultivées de longue date. Couramment positionné aux versants, ce groupe est caractérisé par un apport de matière organique plus important que le G3 via le pâturage d'animaux. Certaines parcelles sont boisées et d'autres sont totalement dénudées. Ce type est intitulé système de pâturage permanent (SSU) où on est dans un Jardin "loin-kay" de type D.

Les variables Topographie (Figure 5a), Section communale (Figure 5b), Classe de sol (Figure 5c) et Irrigation (Figure 5d) introduites en variables supplémentaires discriminent les types identifiés. Les parcelles de groupe 4 sont positionnées aux versants de Bois-Neuf et de Mathurin. Celles du groupe 2 (SSI) et 3 (SI) sont positionnées à Sanyago et à Bouyaha. Le groupe 4 (SA) domine la vallée. Il en est de même pour la variable supplémentaire « section communale » où les groupes 2 (SSI) et 3 (SI) sont positionnés à sanyago et à Bouyaha, le groupe 4 (SSU) aux versants de Bois Neuf et de Mathurin et le groupe 4 en vallées. Les Vertisols/Gleysols sont

positionnés au plateau irrigué (G2 et G3), les Leptosols et les Alisols/Régosols en montagne (G4) et les rendosols aux groupes 1 et 2 (SA, SSI). Les parcelles irriguées sont positionnées aux G2 et G3 et celles non irriguées aux G1 et G4.

Description des variables de caractérisation des systèmes de culture (SC)

L'analyse descriptive révèle que, pour tous systèmes confondus, le nombre de labour moyen varie de 5 à 30 suivant une moyenne de 15,6 et une médiane de 15 sur 10 ans. Ainsi, 57% de terres sont labourées à l'aide de la traction bovine, 30% manuellement à l'aide de machettes, houes et pioches. Seulement 13% des agriculteurs achètent le service de labourage par tracteur mécanique lié aux cultures maraichères et du riz au plateau irrigué. Le système agroforestier (SA) a une densité moyenne de 19 arbres à l'hectare. Le système intensif (SI), le plus labouré, a une densité de quatre arbres à l'hectare. Aucun soin n'est apporté spécifiquement aux arbres à l'exception du cacaoyer où un élagage s'effectue juste avant la saison pluvieuse. Les apports d'engrais varient de zéro en SA à 1636 kg ha⁻¹ an⁻¹ en SI. Trois formules sont utilisées dans une campagne culturale en SI pour les cultures maraichères et du riz : le 12-12-20 (182 kg ha⁻¹) appliqué au cours de la transplantation du riz et des maraichères ; l'urée : 46-0-0 (182 kg ha⁻¹) après leur désherbage et le Diamine-Phosphate (DAP) : 18-46-0 (182 kg ha⁻¹) ou les sulfate d'ammonium ((NH₄)₂SO₄) appliqués juste avant leur montaison. Le nombre d'espèces cultivées varie de 1 en SI à 9 en SA suivant une moyenne de six espèces par an. La diversité des espèces pérennes est aussi importante en SA. La plus faible diversité des cultures et d'espèces pérennes est observée en SI. L'utilisation de pesticides et d'engrais est systématique sur les cultures maraichères et du riz cultivés en SI et, est raisonnée en fonction de l'incidence des ravageurs et de maladies dans les autres SC. En sus des herbicides (trichel), fongicides (ridomil, muscle-ADV) et insecticides (selecron-profenofos, actara) ont

été inventoriés. Dans le SSU le pâturage des caprins et bovins est observé toute l'année moyennant l'existence fourragère. Il est également observé lors des intercultures courtes appliquées en SI et des jachères de trois à six mois en SSI.

Perception des agriculteurs à l'égard des sols

Les agriculteurs les plus instruits (25%), ayant atteint le niveau d'études secondaires, pensent que la matière organique (MO) rend les sols plus productifs. Ils rapportent que plus un sol contient de la MO, plus il est noir. L'ensemble des agriculteurs ne sont pas au courant et n'ont pas perçu d'effets des légumineuses sur les sols. Ils décrivent un sol de mauvaise qualité comme un sol ne pouvant plus rien produire. Pour prédire l'état de fertilité, ils tiennent compte du degré de pierrosité, de la pénibilité du travail du sol et de sa profondeur et de la proportion d'arbres dans la parcelle. Ils mentionnent que les sols de bonne qualité sont de couleur noire ayant une bonne couverture végétale et un rendement satisfaisant. Ceux dont leurs parcelles sont positionnées aux versants précisent que le sol est lavé. Pour les trois systèmes cultivés (SI, SSI et SA), 64% des agriculteurs témoignent

d'une baisse de rendement pour les cultures dominantes (riz, cultures maraichères, canne-à-sucre), 15% rapportent un maintien et 21% en témoignent d'une augmentation de rendement de ces cultures. Parmi ces derniers, 87% font référence au système agroforestier (SA) (Tableau 4). Ces agriculteurs précisent que l'agroforesterie est un grenier. Une même ferme intègre souvent un ou plusieurs des systèmes de culture que nous avons identifiés dans notre typologie et il existe des liens entre ces systèmes. 1) transfert de fertilité et de graines d'adventices en SSU servant de pâturage diurne pour les animaux de la ferme, vers les autres systèmes. Ces transferts se font via le parcage nocturne du bétail en SA et via les transferts de fumier en SI et SSI en provenance du SSU et en SA. 2) Quelques denrées comme le maïs, le haricot et le pois-congo, issues de SA sont utilisées comme semences en SI et SSI. 3) les recettes issues de la vente des légumes en SI sont utilisées pour l'achat des semences pour les autres systèmes. 4) La main d'œuvre agricole est essentiellement familiale et des risques de compétition existent donc entre les parcelles. En vue de gérer le risque de compétition entre parcelle, les agriculteurs ont recours en SI à la main d'œuvre rémunérée à 50%.

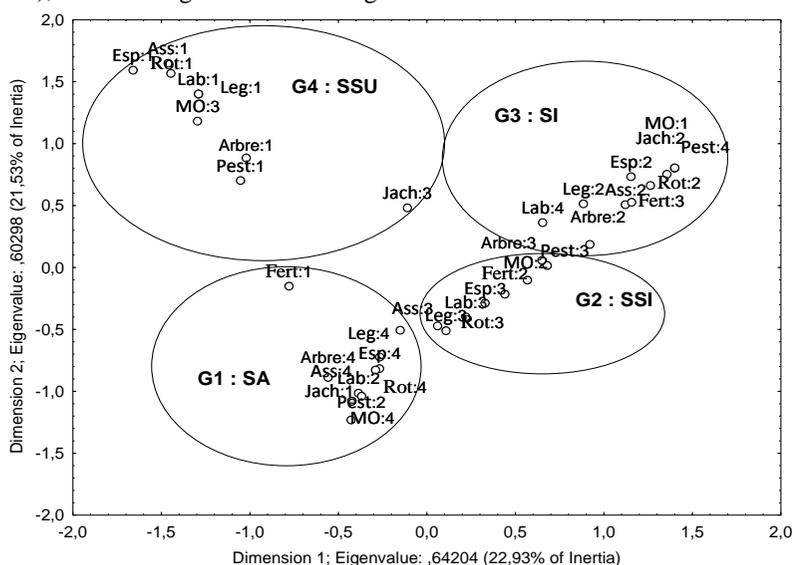


Figure 4: ACM des variables de caractérisation des systèmes culture.

Fert : Fertilisation ; Jach : Durée de la jachère (incluant le pâturage permanent) ; Pest : Pesticide ; Arb : nombre d'arbre dans la parcelle ; MO : apport de matière organique.

Tableau 3: Résumé de la description des systèmes de culture. Les 30 litres de pesticides utilisés sur l'année sont considérés comme des produits purs et non en bouillie appliquée.

Critères	Système intensif (SI)	Système semi-intensif (SSI)	Système agroforestier (SA)	Jachère permanente (SSU)
Fonciers actifs et irrigation	0,4 ha Hab ⁻¹ ; Irrigation	0,6 ha Hab ⁻¹ ; Non irrigué	0,54 ha Hab ⁻¹ ; Non irrigué	Taille relativement grande (3,5 à 10 ha en moyenne)
Travail du sol	3 labours par an, 25 à 35 cm de profondeur	1 ou 2 labours par an ; épaisseur 15 à 20 cm	Travail très superficiel/5-8 cm ; 1 labour superficiel	--
Durée moyenne jachère et longueur rotation	1 mois ; Retour occasionnel des légumineuses	3 à 6 mois. Retour d'au moins une légumineuse chaque 2 ou 3 ans	0 mois. Retour annuel, en relais, de Pois-boussoucou, Haricot et Pois-congo et inconnu	60-120 mois. Absence légumineuse
Espèces cultivées	Riz ; Poireau-carotte-betterave-gombo-épinard-maïs ; Haricot-maïs	Canne-à-sucre (95 %) + banane ; Pois congo-maïs-haricot-pois inconnu-Gombo Patate-Manioc-épinard-banane	Cacao-Igname-Banane-Haricot- Pois-congo-Pois-boussoucou- Manioc-Patate-Taro / Épinard, Mirliton et Gombo	--
Intrants et Nombre d'applications par an (ap. an ⁻¹)	30 l ha ⁻¹ an ⁻¹ pesticide: 9 ap. an ⁻¹ 1,6 t ha ⁻¹ an ⁻¹ engrais : 9 ap. an ⁻¹	7.5 l ha ⁻¹ an ⁻¹ : 3 ap. an ⁻¹ 0,36 t ha ⁻¹ an ⁻¹ : 2 à 3 ap. an ⁻¹	0 engrais ; pesticides occasionnels 2,5 l ha ⁻¹ an ⁻¹	--
Apport matières organiques	Peu ; brulis juste après récolte	Relativement faible	Apport important ;	Apport dans les racks
Conservation des sols et densité arbres	Aucune ; couverture arborée ± (manguier, avocatier, citrus)	Modérée, Gabion, bandes enherbées. Plateau ± couvert (manguier, avocatier, citrus, cocotier)	bandes enherbées. Couverture végétale ± dense	<u>2 situations</u> : sols nus, sols boisés (pâturage, exploitation de bois et de fourrage)
Topographie associée	Essentiellement plateau irrigué	Plateau non irrigué (60 %)	65% en vallée	70 % aux versants
Classes de sols associées % de la couverture	100 % Vertisols/Gleysols	60 % Leptosols	60% Leptosols	80 % Leptosols
Texture des sols, % de la couverture	100 % argileux	65 % argileux	65% limoneux	85 % limono-sableux

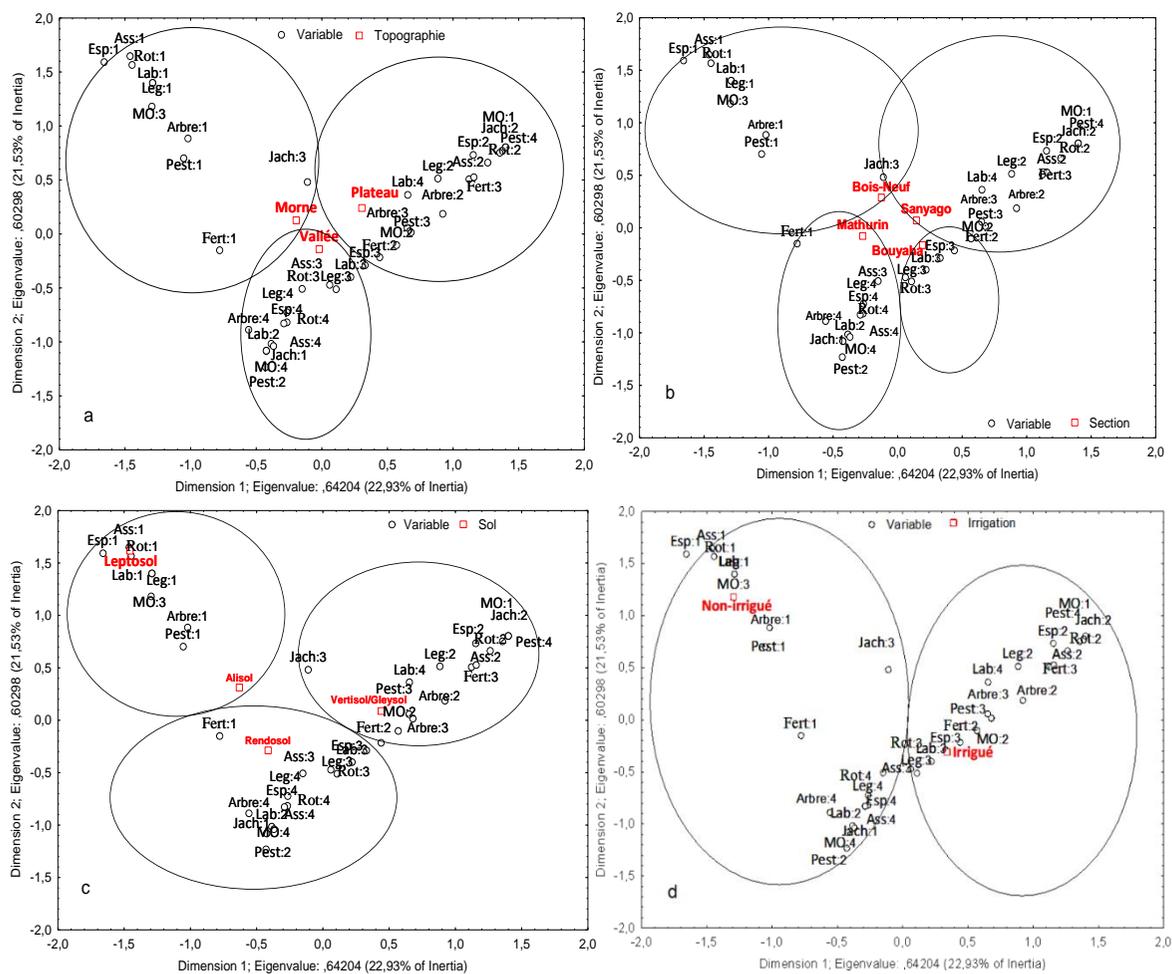


Figure 5: Introduction des variables supplémentaires sur le plan de l’ACM. a: Topographie ; b: Section communale ; c: Classe de sol et d : Irrigation.

Tableau 4: Perception des agriculteurs sur l’évolution du rendement des cultures de céréales au cours de ces 10 dernières années. Les 11 parcelles faisant partie du système de jachère permanente (SSU) ne sont pas incluses.

Réponse	Nombre d’agriculteurs	Fréquence totale (%)	% en SA	% en SSI	% en SI
Forte augmentation	14	21	87	0	13
Stabilité	10	15	13	39	48
Forte régression	43	64	0	61	39
Total	67	100	100	100	100

DISCUSSION

L'ACM nous a permis de faire ressortir plusieurs traits de discrimination des SC. Parmi ceux-ci, le pâturage permanent, la fréquence de légumineuses, la diversité spécifique et le labour sont sûrement les plus importants à noter. En effet, les références bibliographiques suggèrent que ces pratiques sont les plus susceptibles d'affecter la durabilité des systèmes de culture, car on se trouve sur des systèmes à faible niveau d'intrants pour la plupart, où la régulation naturelle des ressources et les leviers pour l'activer (ou la détruire) jouent un rôle déterminant. L'usage de pesticides et d'engrais ne semblent pas déterminants puisque les surfaces concernées sont très faibles.

Notre analyse révèle que plus le labour est fréquent au niveau du périmètre irrigué pour les cultures maraichères et du riz, plus les traitements phytosanitaires et la fertilisation chimique sont importants. L'association de ces techniques est cohérente avec Feller et al. (1990) montrant que plus les terres sont travaillées, plus la teneur en matière organique du sol diminue et, plus les besoins en intrants chimiques sont importants. Du fait de l'utilisation importante de pesticides chimiques, la régulation naturelle des bioagresseurs des cultures à long terme pourrait aussi être fortement diminuée dans le cadre de ces systèmes (Clermont-Dauphin et al., 2004).

Mise à part de l'interculture courte observée en SI, La durée des jachères varie de trois à six mois en SSI. Nous avons constaté que les terres où elle excède cinq ans sont celles abandonnées en raison de la baisse importante de fertilité, c'est le cas du SSU. Ces terres sont surtout consacrées à l'élevage caprin. Il apparaît de multiples convergences avec les travaux de SACAD-FAMV (1994) indiquant que ces terres ne supportent aucune culture. Ils les surnomment « jardin Cabrit ». Elles sont caractérisées par de fortes pentes et de sols très érodés néoformés sur substrat calcaire. Jean-Denis et al. (2014) rapportent que ce groupe (Type D selon eux) est consacré à

l'exploitation des bois et de fourrages. En SI, la productivité est maintenue grâce à l'usage important d'engrais où quatre campagnes culturales peuvent s'effectuer selon la disponibilité en eau et la tenure foncière. Pour cette raison, la succession culturale d'une année ne se répète pas forcément dans l'année suivante en SI. En SSI, les rotations des légumineuses (*Vigna unguiculata* et *Cajanus cajan*) s'effectuent suivant un cycle régulier puisque les conditions permettent de faire une ou deux campagnes sur l'année. Une jachère de 3-6 mois, liée à la saison sèche et associée avec des rotations des légumineuses, peut maintenir la fertilité et la productivité des sols comme le stipulent les travaux de Samaké et al. (2006) et de Villenave et al. (2022). Localement, les résultats des travaux du CHCL et al. (2022) l'ont affirmé en SSI, suggérant une meilleure teneur en matière organique ($\geq 4,5 \text{ g kg}^{-1}$) après le SA.

En Afrique de l'Ouest, de nombreux travaux ont montré la réduction des risques d'érosion et le maintien de la biodiversité par la pratique de jachères et la diversité des cultures (Wezel et Haigis, 2002 ; Manlay et al., 2004 et Hauser et al., 2006). L'association entre fréquence élevée des légumineuses, présence importante d'arbres, faible dose d'engrais et de pesticides est aussi cohérente au niveau agronomique. L'implémentation de telles pratiques correspond au système agroforestier (SA). Courte et al. (2019), dans leur typologie, les ont attribuées au système à faible impact qui, selon Jean-Denis et al. (2014), est positionné à proximité de la maison de l'exploitation familiale (Jaden Lakou). C'est aussi le groupe dont la restitution organique est jugée plus importante car toutes les strates végétatives y sont présentes (arborescente, arbustive, herbacée et lianescente). Il est le noyau de l'exploitation agricole. Le G2 de notre typologie (SSI) est caractérisé par les cultures annuelles conduites en association, qu'elles soient vivrières ou de rente (canne-à-sucre, maïs, sorgho, haricot, racines et tubercules, légumes). Contrairement à SACAD et FAMV (1994), il s'agit réellement

d'un système semi-intensif caractérisé par : une haie arbustives entourant la parcelle, des jachères de 6 mois et l'usage modéré d'intrants chimiques. Le G3 se rapproche du type suggéré par Courte et al. (2019) dit système à impact fort correspondant à la micro zone de culture irriguée de Saint-Raphaël. Il est généralement éloigné de la maison de l'EA. Toutefois, en tenant compte de son mode de tenure foncière dominé par le fermage et sa position par la maison, ce groupe correspond au type C de SACAD-FAMV (1994).

En vue de diminuer les risques de perte de rendement, les agriculteurs ont recours consciemment ou non, à l'augmentation de la diversité des espèces en association. Gil et al. (2017) et Michael Smith (2021) ont signalé des effets positifs des associations mixtes. Ces pratiques sont prometteuses lorsque la disponibilité en azote des sols est faible (Naudin et al., 2010). C'est dans le SA que le niveau de transition agroécologique, au sens de « l'outil Tape » de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (2021), serait le plus élevé. La perception des agriculteurs sur l'amélioration des rendements en agroforesterie rejoint les résultats de Sileshi (2016) qui montrent une amélioration des caractéristiques chimiques des sols et une augmentation de la productivité des cultures dans un tel système comparé aux cultures pures.

La vulnérabilité été définie comme le potentiel de perte de ressources et de capacités à y réagir (Chuku et Okoye, 2009). A Saint-Raphaël, la vulnérabilité des SC est importante. Elle est façonnée par l'exposition croissante à des risques majeurs associés au changement climatique et aux fortes pentes des parcelles cultivées. Plus de 10 cyclones ont été enregistrés en 20 ans. Nous avons vu que les agriculteurs étaient sensibles à ces facteurs climatiques (températures et pluviosité). Notre enquête a montré qu'il y a chez les plus instruits une sensibilité à la dégradation du milieu (Nadeau et al. 2018). Cette vulnérabilité est aussi façonnée par le contexte socioéconomique, politique et biophysique. Le

manque d'encadrement technique, évoqué par 52% des enquêtés, et d'accès aux moyens de production sont patents. Nous basant sur les données d'enquête, notre analyse rejoint les perceptions des agriculteurs sur l'évolution des rendements et les sols. La majorité des graines et des ressources génétiques animales sont échangées et autoproduites. Celles de cultures maraichères sont les seules achetées régulièrement. Si l'on s'attache aux éléments climatiques, 40% des agriculteurs enquêtés indiquent que les températures ont augmenté et que les pluies sont plus rares et les périodes de déficit hydrique pour les cultures se sont allongées. Les plus instruits évoquent des conséquences en termes d'ensablement de cours d'eau alimentant le plateau irrigué, de baisse des rendements et d'accélération de la dégradation des sols comme le stipulent les travaux de Magamana et al. (2021). Les versants (37,5%) sont exploités sans structures antiérosives. Les projets d'aménagement, quasi absents, semblent n'avoir eu qu'une efficacité limitée. Sur le plan socio-économique, l'accès au crédit est limité, pas d'assurance et de mécanismes de soutiens communautaire et public. Aucun cadre légal et de gouvernance pour la protection de la biodiversité n'est appliqué. Le SI est le seul système où la main d'œuvre rémunérée existe réellement. La coupe abusive de bois alertée depuis 1993 par Smolikowski, effectuée en majeure partie dans les versants (SSU et SSA), est une des principales alternatives pour une amélioration de revenu pouvant être réinvestie dans les cultures de rente. Cette trésorerie est réinvestie par l'achat des semences et du service de labourage en SI et en SSI. Les jeunes qui représentent 20% de la population s'adonnent à d'autres activités rémunératrices (taxi moto). Le flux migratoire et l'exode rural sont des sources d'entrée de capital important pouvant être investis dans l'activité agricole. Le retour de l'argent par les migrants au sein de l'EA est réinvesti par l'achat du bétail (caprins, bovins) et par l'acquisition foncière. Il sert également à la couverture des besoins alimentaires du ménage agricole. De toute évidence, les

agriculteurs n'ont ni moyens, ni connaissances pour prendre en compte les processus écologiques (la décomposition de la MO par les microorganismes, la dynamique des populations, l'érosion du sol, photosynthèse nécessaire au stockage de carbone dans le sol, etc.) et leurs services dans le raisonnement de leurs pratiques. En fait, les systèmes actuels semblent présenter de gros problèmes de durabilité.

Conclusion

La distribution de nos quatre types de systèmes de culture (SC) semble fortement liée à la combinaison de la topographie, du type de sol (qui conditionne leurs potentialités agronomiques) de l'accès à l'irrigation et de la distance à l'exploitation. Nos résultats reflètent de multiples convergences, pour lesquelles que soient les variables retenues, avec ceux réalisés antérieurement au Sud du pays et dans la Caraïbe. L'hypothèse de départ affirmant la diversité des systèmes de culture caractérisée par les espèces présentes et la diversité des pratiques culturales a été testée. Ces traits sont facilement accessibles et peuvent être mobilisés en vue d'évaluer les performances agro-environnementales des SC et de raisonner des améliorations de gestion. Ainsi, la santé du sol, la biodiversité agricole et la productivité font partie des critères de performances agro-écologiques à évaluer dans nos travaux futurs à partir de ces traits. Les perceptions des agriculteurs sur les sols et les techniques culturales implémentées ont indiqué une évolution importante des processus de dégradation dans le cadre de la plupart des SC, ainsi que le rôle joué par un couvert arboré pour empêcher cette dégradation. Nos résultats suggèrent que les processus écologiques des sols interviennent cependant peu dans leurs décisions techniques. Dans un tel contexte, une approche d'évaluation des SC en place à partir d'un dispositif on-farm, et en interaction forte avec les agriculteurs de la région serait à la fois pertinente sur le plan scientifique et efficace pour développer les connaissances et

l'autonomie des agriculteurs en vue de l'amélioration de leurs pratiques.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Acquisition des fonds et gestion du projet: WD, HM, JLC et MB. Conceptualisation/Méthodologie: W. Dorvil, C.C. Dauphin, M. Brossard, J.L. Chotte, J.M. Théodat et H. Museau. Collecte, gestion et analyse des données: W. Dorvil - Supervision: M. Brossard, C.C. Dauphin, J.L. Chotte, J.M. Théodat et H. Museau. Validation: M. Brossard, C.C. Dauphin, J.L. Chotte, J.M. Théodat et H. Museau - Écriture/préparation de l'ébauche originale: W. Dorvil. Écriture/Révision et édition: W. Dorvil, C.C. Dauphin, M. Brossard, J.L. Chotte, J.M. Théodat et H. Museau.

REMERCIEMENTS

Travaux réalisés dans le cadre du projet n° 308141-00, Ministère de l'Agriculture des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR) pour avoir financé ce travail. Nous remercions aussi tous les acteurs de la société civile raphaéloise ainsi que les étudiants de la faculté d'agronomie du CHC-UEH-L. La Direction des Études Post-Graduées de l'Université d'État d'Haïti (DEP) et L'IRD Eco&Sols, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier sont remerciés pour leurs moyens logistiques et académiques.

RÉFÉRENCES

- Adams AM, Gillespie AW, Kar G, Koala S, Ouattara B, Kimaro AA, Bationo A, Irenikatche Akponikpe PB, Schoenau JJ, Peak D. 2016. Long Term Effects of Reduced Fertilizer Rates on Millet Yields and Soil Properties in the West-African Sahel. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **106**: 17–29. DOI: 10.1007/s10705-016-9786-x.
- Albert B, Roberts TG, Harder A. 2017. Barriers Faced by Small Scale Farmers in the

- North Department of Haiti. *Journal of International Agricultural and Extension Education*, **24**(4): 22-34. DOI: 10.5191/jiaee.2017.24302.
- Brown G, Pashanasi B, Villenave C, Patron JC, Senapati BK, Giri S, Barois I, Lavelle P, Blanchart E, Blakemore RJ, Spain AV, Boyer J. 1999. Effects of earthworms on plant production in the tropics. *Tropical Agroecosystems*, **5**: 87-147. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/39848561.pdf#page=99>
- CHCL, Agrisud International, GRADIMIRH, IRD. 2020. Rapport de Micro-Zonage Agro-Ecologique de St-Raphaël, Haïti. Consortium, p. 60.
- CHCL, Agrisud International, GRADIMIRH, IRD. 2022. Cartographie de la Fertilité des sols à Saint-Raphaël Haïti. Consortium, p. 35.
- Clermont-Dauphin C, Meynard JM, Cabidoche YM. 2003. Devising Fertilizer Recommendations for Diverse Cropping Systems in a Region: the Case of Low-Input Bean/Maize Intercropping in a Tropical Highland of Haïti. *Agronomie*, **23**(7): 673–681. DOI: 10.1051/agro:2003046.
- Clermont-Dauphin C, Cabidoche YM, Meynard JM. 2004. Diagnosis on the Sustainability of an Upland Cropping System of Southern Haiti. *Agriculture Ecosystems and Environment*, **105**(1-2): 221-234. DOI: 10.1016/j.agee.2004.03.008.14 p.
- Chuku CA, Okoye C. 2009. Increasing resilience and reducing vulnerability in sub-Saharan African agriculture: Strategies for risk coping and management. *African Journal of Agricultural Research*, **4**(13): 1524-1535. URL: <https://academicjournals.org/article/article1380816740>.
- Courte A, Cialdella N, Muller A, Blanfort V, Bochu J-L, Brossard M. 2020. Recenser et Evaluer les Pratiques Agricoles qui stockent le Carbone des sols, premier pas vers une Agriculture à faible impact en Guyane. *Cahiers Agricultures*, **29**(21). DOI: <https://doi.org/10.1051/cagri/2020019>.
- FAO et ITPS. 2015. État des ressources en sols du monde | Résumé technique. ISBN 978-92-5-208960-5, p. 79.
- FAO. 2021. TAPE - Outil pour l'Évaluation de la Performance de l'Agroécologie 2019. Processus de Développement et guide d'application. Version test. Rome. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb4706fr>.
- Feller C, Albrecht A, Brossard M, Chotte JL, Cadet P, Hetier JM, Barrois I, Marriotti A, Castellanet C, De Guiran E, Clairon M, Daly P, Mahieu M, Pilgrim M, Ramdass A, Ahmad M, Griffith SM, Fardeau JC. 1990. Effets de Différents Systèmes de Culture Paysans sur quelques propriétés des sols et relations sol-plante dans la zone des Petites Antilles. *Agriculture Paysanne et Développement: Caraïbes-Amérique Tropicale-Guadeloupe*, **3**: 163-190. URL: <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010021549>.
- Gil JDB, Cohn AS, Newton P, Vermeulen S. 2017. The Resilience of Integrated Agricultural Systems to Climate Change. *WIREs Clim Change*, p. 15 DOI: 10.1002/wcc.461.
- Hauser S, Nolte C, Carsky RJ. 2006. What Role can Planted Fallows play in the Humid and Sub-Humid Zone of West And Central Africa? *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **76**(2-3): 297–318. URL: <https://biblio.iita.org/documents/S06ArtHauserRoleInthomNodev.pdf-34def0962ccdb53efaab635ab0f07107.pdf>
- Hilbe JM. 2007. STATISTICA 7. *The American Statistician.*, **61**(1): 91-94 DOI: 10.1198/000313007X172998.
- IHSI. 2015. Population totale, population de 18 ans et plus, ménages et densités estimés en 2015. Port-au-Prince, Haïti, p. 129.
- IUSS Working Group WRB. 2014. Base de Référence Mondiale pour les ressources

- en sols 2014. Rapport sur les Ressources en Sols du Monde., **106**. FAO: p. 203.
- Jean-Denis S, Jean-Pierre D., Mutel M., Duchaufour H, Langlais C, Fernandes P, Alphonse ME, Malézieux E. 2014. Évolution de la structure d'un système agroforestier en relation avec le cycle de vie familial : cas du jardin de case en Haïti. *Bois et forêts des tropiques*, **321**(3): 7-20. URL: <https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/download/BFT321-7-20/30968>
- Kushwaha CP, Singh KP. 2005. Crop Productivity and Soil Fertility in a Tropical Dryland Agro-Ecosystem: Impact of Residue and Tillage Management. *Experimental Agriculture*, **41**: 39-50. DOI: 10.1017/S0014479704002303.
- Magamana AE, Gadedjisso-Tossou A, Blavet D, Hien E, Chotte JL. 2021. Dégradation de la fertilité des sols et de l'environnement dans la Région des Savanes uu Nord-Togo: Analyse des perceptions et stratégies d'adaptation indigènes. *European Scientific Journal*, **17**(25): 40-65. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n25>
- Manlay RJ, Masse D, Chevallier T, Russell-Smith, Friot D, Feller C. 2004. Post-fallow decomposition of woody roots in the West African savanna. *Plant and Soil*, **260**: 123–136. URL: <https://www.researchgate.net/profile/Tiphaine-Chevallier/publication/226299375>.
- MARNDR. 2012. Synthèse Nationale des résultats du Recensement général de l'agriculture (RGA) 2008/2009. Port-au-Prince, Haïti, p. 217.
- Masson AS, Vermeire ML, Leng V, Simonin M, Tivet F, Thi HN, Brunel C, Suong M, Kuok F, Moulin L, Bellafiore S. 2022. Enrichment in Biodiversity and Maturation of the Soil Food Web under Conservation Agriculture is associated with Suppression of Rice-Parasitic Nematodes. . *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **331**: 107913. DOI: 10.1016/j.agee.2022.107913, 15 p.
- Mayer J, Buegger F, Jensen E, Schloter M, Hess J. 2003. Residual Nitrogen Contribution from Grain Legumes to Succeeding Wheat and Rape and related Microbial process. *Plant and Soil*, **255**: 541-554. DOI: 10.1023/A:026081015076.
- McGarry D, Bridge BJ, Radford BJ. 1999. Contrasting Soil Physical Properties After Zero and Traditional Tillage of an Alluvial Soil in the Semi-Arid Subtropics. *Soil and Tillage Research*, **53**(2): 105-115. DOI: 10.1016/S0167-1987(99)00091-4.
- Ministère de l'Environnement (MDE). 2019. Sixième rapport national sur la biodiversité d'Haïti, p. 199.
- Michael Smith C. 2021. Conventional Breeding of Insect-Resistant Crop Plants: Still the Best Way to Feed the World Population. *Insect Science*, **45**: 7–13 DOI: 10.1016/j.cois.2020.11.008.
- Nadeau MB, Hénault-Ethier L, Junior rony F, Michel G, Monette M. (2018). Restauration des Paysages Forestiers et Agroforestiers en Haïti. *Haïti Perspectives*, **6**(4): 33-42. URL: <http://synthese.larim.polymtl.ca:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/274/Haiti%20Perspectives%20Vol.%206%20No.%204%20pages%2033%20-%2042.pdf?sequence=1>
- Naudin C, Corre-Hellou G, Pineau S, Crozat Y, Jeuffroy MH. 2010. The Effect of various Dynamics of N Availability on Winter Pea–Wheat Intercrops: Crop growth, N partitioning and symbiotic N₂ fixation. *Field Crops Research*, **119**: 2–11. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.06.002.
- O'Brien KL, Leichenko RM. 2000. Double exposure: Assessing the Impacts of Climate Change within the context of Economic Globalization. *Global Environmental Change*, **10**(3): 221-232. DOI: 10.1016/S0959-3780(00)00021-2.
- Programme Alimentaire Mondial (PAM). 2023. Haïti: Analyse des Conditions de Sécheresse, p. 5.

- Peel M. C., Finlayson B. L., McMahon T. A. 2007. Updated World Map of the Koppen-Geiger Climate Classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, **11**: 1633–1644. URL: www.hydrol-earth-syst-sci.net.
- SACAD-FAMV, 1994. Paysans, systèmes et crises. Tome 1 : Histoire agraire et développement. Tome 2 : Stratégie et logique sociales. Tome 3 : Dynamique de l'exploitation paysanne. Port-au-Prince, Haïti, SACAD-UAG/FAMV, p. 363, p. 298, p. 476.
- Salomon W, Sikuzani YU, Kouakou M, Barima YSS., Theodat JM, Bogaert J. 2021. Cartographie et quantification de la perte du couvert forestier dans les parcs nationaux du Sud de la République d'Haïti de 1985 à 2018: rôle des activités agricoles locales. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **15** (2): 477-496. DOI: 10.4314/ijbcs.v15i2.9, pp 477-496.
- Samaké O, Stomph TJ, Kropff MJ, Smaling EMA. 2006. Integrated pearl millet management in the Sahel: Effects of Legume Rotation and Fallow Management on Productivity and Striga Hermonthica Infestation. *Plant and Soil*, **286**: 245-257. DOI: 10.1007/s11104-006-9041-3.
- Sebillotte M. 1978. La collecte des références et les progrès de la connaissance agronomique. In *Exigences Nouvelles pour L'agriculture, les Systèmes de Culture Pourront-ils S'adapter*, Boiffin J, Huet P, Sebillotte M (eds). ADEPRINA INA-PG; 466-496.
- Sheil D, Puri R K, Basuki I, Van Heist M, Wan M, Rukmiyati NL, Sardjono MA, Samsedin I. 2004. À la Découverte de la Biodiversité, de l'Environnement et des Perspectives des Populations Locales dans les Paysages Forestiers. Méthodes pour une Etude Pluridisciplinaire du paysage. *Center for International Forestry Research*, p. 97.
- Sileshi GW. 2016. The Magnitude and Spatial Extent of Influence of *Faidherbia albida* Trees on Soil Properties and Primary Productivity in Drylands. *Journal of Arid Environments*, **132**: 1-14 DOI: 10.1016/j.jaridenv.2016.03.002.
- Smolikowski B. 1993. La gestion Conservatoire de l'eau, de la Biomasse et de la Fertilité des sols (GCES): une Nouvelle Stratégie de lutte antiérosive en Haïti. *Cahier Orstom, Série pédologique*, **28**(2): 229-252. URL: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cahiers/PTP/10009094. PDF
- Toukara A, Clermont-Dauphin C, Affholder F, Ndiaye S, Masse D, Cournac L. 2020. Inorganic Fertilizer use efficiency of Millet crop increased with Organic Fertilizer Application in rainfed Agriculture on smallholdings in Central Senegal. *Journal of International Agricultural and Extension Education*, **294**: 1-11. DOI: 10.1016/j.agee.2020.106878, 11 p.
- Villenave C, Chauvin C, Puissant J, Henaux M, Trap J. 2022. Impact des Pratiques Agricoles sur l'état Biologique du sol : SIPANEMA, un outil d'aide à la décision basé sur les nématodes. *Etude et Gestion des Sols*, **29**: 199-209.
- Wezel A et Haigis J. 2002. Fallow cultivation system and farmers' resource management in niger, west Africa. *Land Degradation and Development*, **13**: 221-231. DOI: 10.1002/ldr.499.