

Rotation culturale et fertilisation minérale dans l'amélioration de la fertilité des sols et du rendement de la carotte (*Daucus carota* L.) sur le Plateau des Rochelois, Haïti

P. Duvivier, G. Doréus, R.-P. Tescar, H. Augustin, R. Petit, P.J. Duvivier, O.N. Carvil, Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV) de l'Université d'Etat d'Haïti (UEH)

Auteurs correspondants : P. Duvivier (pduvivier@yahoo.com, 509 4892 7202) ; G. Doréus (gelin.doreus@gmail.com, 509 4892 7184)

Résumé

Duvivier P., Doréus G., Tescar R.-P., Augustin H., Petit R., Duvivier P.J., Carvil O.N. 2024. Rotation culturale et fertilisation minérale dans l'amélioration de la fertilité des sols et du rendement de la carotte (*Daucus carota* L.) sur le Plateau des Rochelois, Haïti. RED 11 (1): 8 - 15

Cette étude a été réalisée pour évaluer l'effet de la fertilisation minérale et de la rotation culturale sur le rendement de la carotte sur le Plateau de Rochelois (Nippes, Haïti). Des enquêtes individuelles ont été réalisées pour estimer le rendement à la ferme. Des échantillons de sol ont été prélevés et analysés pour les paramètres suivants : pH, azote total, phosphore assimilable, capacité d'échange cationique, potassium échangeable, matière organique, carbone organique et texture. Des essais participatifs avec les agriculteurs et en station ont été conduits sur le terrain. Deux séquences de rotation (carotte-haricot-jachère, haricot-carotte-jachère) et six doses de NPK (0-0-0, 100-60-100, 150-90-150, 200-120-200, 250-150-250, 300-180-300 kg/ha) ont été testées. Les résultats des enquêtes ont montré que le rendement obtenu par les agriculteurs (3,6 t/ha) est faible comparé au rendement moyen mondial (38 t/ha). Les caractéristiques du sol révélées par les échantillons analysés ont satisfait aux limites minimales requises pour la culture de la carotte, excepté la capacité d'échange cationique (9,52 méq/100g) qui s'est révélée trop faible comparée au niveau requis (12 à 20 méq/100 g). Tant dans les essais participatifs qu'en station, le rendement a été meilleur dans la séquence de rotation haricot-carotte-jachère comparée à carotte-haricot-jachère. L'application de NPK a entraîné l'augmentation du rendement de la carotte jusqu'à la dose de 200-120-200 kg/ha.

Mots clés : séquence de rotation, dose de NPK, caractéristiques du sol.

Abstract

Duvivier P., Doréus G., Tescar R.-P., Augustin H., Petit R., Duvivier P.J., Carvil O.N. 2024. Crop rotation and chemical fertilizers to improve soil fertility and carrot (*Daucus carota* L.) yield on the Plateau des Rochelois, Haïti. RED 11 (1): 8 - 15

This study was carried out to evaluate the effect of mineral fertilization and crop rotation on carrot yield on Plateau des Rochelois (Nippes, Haïti). Individual surveys were carried out to estimate farm yield. Soil samples were collected and analyzed for the following parameters: pH, total nitrogen, assimilable phosphorus, cation exchange capacity, exchangeable potassium, organic matter, organic carbon and texture. On-station and participatory trials with farmers were conducted on the field. Two rotation sequences (carrot-bean-fallow, bean-carrot-fallow) and six doses of NPK (0-0-0, 100-60-100, 150-90-150, 200-120-200, 250-150-250, 300-180-300 kg/ha) were tested. The results of the surveys showed that the yield obtained by farmers (3.6 t/ha) is low compared to the world average 38 t/ha. The soil characteristics revealed by the samples analyses met the minimum limits required for carrot cultivation, except for the cation exchange capacity (9.52 meq/100g) which proved to be too low compared to the required level of 12 to 20 meq/100 g. Both in participatory and on-station trials, yield was better in the bean-carrot-fallow rotation sequence compared to carrot-bean-fallow. The application of NPK led to an increase in carrot yield up to the 200-120-200 kg/ha dosis.

Keywords: rotation sequence, NPK dosis, soil characteristics

Introduction

La carotte (*Daucus carota* L.) est une plante de la famille des Apiacées originaire d'Asie. Sa découverte remonte à plus de 5000 ans dans une région qui correspond aujourd'hui à l'Afghanistan. Au sein des Apiacées, elle revêt la plus grande importance économique, même si l'on y retrouve d'autres espèces cultivées comme le céleri (*Apium graveolens* L.), le fenouil (*Foeniculum vulgare* Mill.) et le persil (*Petroselinum crispum* (Mill.)

Fuss) (17). Elle est le légume racine le plus consommé dans le monde (23). Elle est connue pour la qualité de sa racine pivotante développée en organe de réserve, charnue, casante, pigmentée, agréable au goût apprécié et non ramifiée en sol meuble (24).

Avec la grande diversité de variétés existantes, la carotte est cultivée dans de nombreuses régions du globe et contribue de manière significative à la production alimentaire mondiale (4). Du point de vue écono-

mique, elle fait partie des dix cultures légumières les plus importantes dans le monde, en termes de surface de production et de valeur marchande (25). Selon le centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (8), la production mondiale est en nette progression depuis 1991 et a atteint les 41,7 millions de tonnes en 2021 contre 33,7 millions de tonne en 2010 dont 44% de cette production est assurée par la chine loin devant d'autres producteurs comme l'Ouzbékistan (7%), les Etats-Unis (4%), et la Russie (4%). Le rendement mondial varie de 30 à 60 t/ha avec une moyenne de 38 t/ha (6).

En Haïti, la culture de la carotte est très répandue et occupe une place importante dans la production légumière de montagne du pays (26). Elle est présente dans presque toutes les zones d'altitudes du pays comme à Kenscoff dans le département de l'Ouest, Seguin, Cap-Rouge dans le Sud-Est, Plateau Goyavier dans le bas de l'Artibonite, la Croix-St-Joseph dans le Nord-Ouest, Plateau de Rochelois dans les Nippes, etc. Malgré l'importance économique et alimentaire de la culture, les agriculteurs n'arrivent pas à exploiter toute sa potentialité. Le rendement moyen national est de 8 t/ha (19) et est très faible par rapport au rendement moyen mondial de 38t/ha. Sur le Plateau de Rochelois, l'une des plus importantes zones de production légumière en Haïti grâce à ses conditions climatiques favorables, la situation n'est pas différente et le rendement est faible aussi, 4,6 t/ha (1).

Plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer les faibles rendements en Haïti. Ces dernières incluent des problèmes phytosanitaires, des faibles performances va-

riétales, la mauvaise qualité de semence et le manque de fertilité des sols. L'hypothèse du manque de fertilité des sols paraît d'autant plus plausible que la durée de jachère est courte en raison de la petite taille des exploitations agricoles (1, 13), il n'y a pas de référentiel technique relatif à la gestion des sols et de la fertilité, la matière organique n'existe pas en abondance pour la fertilisation organique, la disponibilité des engrais minéraux est aléatoire et leurs prix volatiles, la séquence de rotation culturale ne paraît pas appropriée. En général, les agriculteurs cultivent le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) après la carotte espérant qu'il bénéficiera d'un reliquat de fertilisant. Mais, tel ne semble pas être le cas. La carotte pourrait plutôt bénéficier de la fixation biologique de l'azote atmosphérique par le haricot si ce dernier était utilisé en tête de rotation. Or, ce n'est qu'en intégrant toutes les techniques disponibles de gestion de la fertilité des sols qu'il est possible d'arriver à la durabilité productive, économique et environnementale d'un système de production agricole (5).

Face à cette problématique complexe, il convient de proposer aux producteurs de carotte du Plateau de Rochelois des doses d'engrais minéraux adéquates et la séquence de rotation pouvant leur permettre d'améliorer le rendement de la culture. Ainsi, cette étude a été réalisée sous l'hypothèse que le rendement de la carotte est limité par un manque de fertilité des sols. Elle

visait à évaluer l'état de la fertilité chimique des sols, identifier la meilleure dose de NPK entre 0 et 300 kg/ha et la meilleure séquence de rotation entre carotte-haricot-jachère et haricot-carotte-jachère.

Méthodologie

Site de l'étude

L'étude a été réalisée sur le Plateau de Rochelois principalement sur l'axe Paillant/ Salagnac/ Saut-du-Baril d'août 2021 à février 2024. Le Plateau de Rochelois est situé dans le département des Nippes au centre de la péninsule du Sud d'Haïti à 130 km de Port-au-Prince. Il domine trois communes : Petite-Rivière-de-Nippes, Anse-à-Veau et Paillant. Sa superficie est de 62 km², et il est compris entre 500 et 1050 m d'altitude (18). Sur la période des essais (avril 2023-février 2024), les précipitations ont totalisé 748.19 mm bien réparties avec un pic en décembre et un creux en janvier 2024. La température a varié de 26 à 31°C (Figure 1).

Matériel expérimental

La carotte (*Daucus carota* L. var 'New Kuroda'), de cycle 90 à 105 jours, largement cultivée dans la zone et très appréciée par les producteurs ; le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) noir local ; l'engrais 12-12-20 et l'urée (46-0-0) ont été utilisés comme matériel expérimental.

Estimation du rendement à la ferme par enquêtes

L'étude a été réalisée en trois étapes : a) estimation du rendement

de la culture à la ferme par enquêtes auprès des agriculteurs, b) évaluation de la fertilité des sols par analyses au laboratoire et c) détermination de la meilleure dose de NPK et de la meilleure séquence de rotation par des essais sur le terrain. Pour estimer le rendement obtenu par les agriculteurs, des enquêtes ont été réalisées auprès de 27 producteurs en août 2021. Les agriculteurs enquêtés ont été tirés d'une base d'échantillonnage de 50 producteurs de légumes (36 femmes et 14 hommes) fournie par le Centre Canadien de Coopération Internationale (CECI), une ONG intervenant dans la zone d'étude. Les 50 ont été contactées, mais seuls 27 (19 hommes et 8 femmes) ont déclaré qu'elles produisent de la carotte et ont participé aux enquêtes.

Des données ont été collectées sur les surfaces emblavées et les quantités récoltées pour les 12 derniers mois précédant les enquêtes. Le rendement en kg/ha a été calculé en divisant la quantité récoltée en kg par la superficie emblavée en ha.

Analyses de sol

Pour évaluer l'état de la fertilité des sols, 24 échantillons de sol ont été prélevés en février 2023 dans 24 points de sondage sélectionnés de manière à couvrir différentes positions topographiques (piedmont, pente, replat), à raison de 8 points de sondage par condition topographique. Les prélèvements ont été faits à la tarière sur une profondeur de 0 à 30 cm. Les échantillons ont été conditionnés dans des sachets en

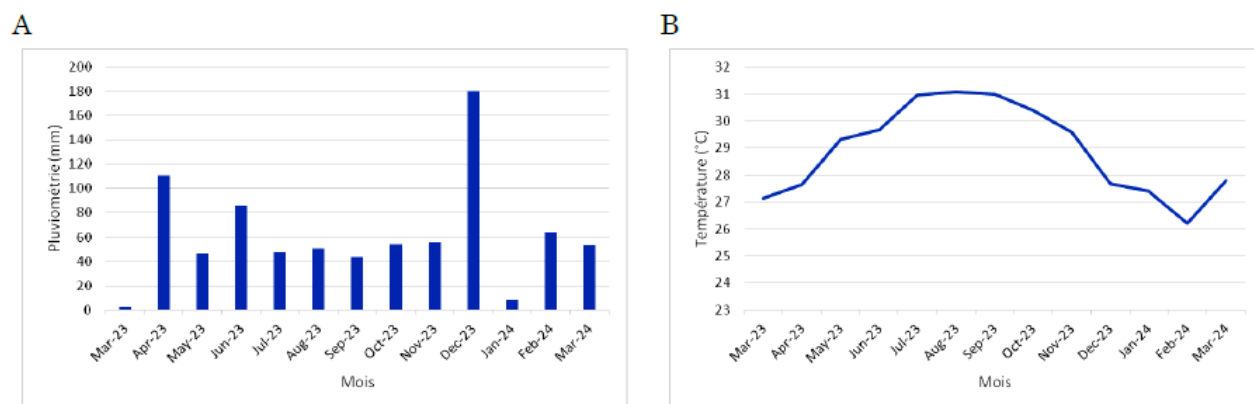


Figure 1. Pluviométrie (A) et température (B) moyennes mensuelles du Plateau des Rochelois de mars 2023 à mars 2024.

Source : National Aeronautics and Space Administration (20).

polyéthylène zippés et transférés au laboratoire de sol de la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV) de l'Université d'État d'Haïti (UEH) pour analyses.

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre électronique dans un mélange sol-eau distillée (rapport 1: 2,5). La matière organique (%) et le carbone organique (%) ont été évalués par la méthode de Walkley et Black ; l'azote total, (%) par la méthode Kjeldahl ; et le phosphore assimilable (ppm), par la méthode Olsen. La capacité d'échange cationique et le potassium échangeable en milliéquivalent/100 g (méq/100 g) ont été mesurés à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme après extraction à l'acétate d'ammonium à pH 7. Les pourcentages d'argile, de limon et de sable ont été déterminés par la méthode Bouyocos et la texture à l'aide d'un triangle de texture du Centre de technologie agricole (2). Pour déterminer les contraintes du sol pour la culture de la carotte, les résultats obtenus pour les échantillons analysés ont été comparés aux limites d'adéquation admises disponibles dans la littérature.

Essais de rotation culturale et de fertilisation minérale

Des essais en station et participatifs chez les agriculteurs ont été réalisés entre avril 2023 et février 2024. Deux séquences de rotation (carotte-haricot-jachère et haricot-carotte-jachère) et six doses de NPK (0-0-0, 100-60-100, 150-90-150, 200-120-200, 250-150-250, 300-180-300 kg/ha) ont été testées. La séquence de rotation a été considérée comme facteur principal et la dose de NPK comme subsidiaire dans un arrangement en parcelles divisées dans un dispositif en blocs complets aléatoires avec trois répétitions. Aménagés dans des parcelles d'agriculteurs différents à distance variable dans les essais participatifs, les blocs voisins ont été séparés de 2 m dans l'essai en station. Chaque unité expérimentale a été subdivisée en six sous-unités de 4 m x 3 m (12 m²) pour recevoir les six doses de NPK. Les sous-unités voisines ont été séparées de 1.5 m. Pour chaque sous-

unité, la récolte a été mesurée et enregistrée à maturité. Le rendement en g/m² a été calculé en divisant la somme des quantités récoltées en g par la surface récoltée (12 m²). Le rendement obtenu en g/m² a été converti en kg/ha.

Analyse des données

Les données ont été soumises à l'analyse statistique descriptive dans Excel, ou à l'analyse de variance à $\alpha=0.05$ dans R (version 4.4.0), suivie de comparaison multiple de moyennes par le test de Duncan quand il fut approprié.

Résultats

Rendement obtenu par les agriculteurs

Dominées par la carotte et le chou, les cultures maraîchères occupent 40.83% des parcelles des agriculteurs. C'est le groupe de culture le plus important après l'igname (41.58% des parcelles) tant sur le plan alimentaire que sur le plan économique. Le rendement déclaré par les agriculteurs lors des enquêtes est de 3596.86 ± 57.19 kg/ha (moyenne $\pm$ erreur standard) contre 38 t/ha en moyenne au niveau mondial (6), donc très faible. La fertilité des sols a été blâmée à titre d'hypothèse.

Dans le système de culture de la carotte, les agriculteurs font face à des contraintes diverses en lien avec la gestion de la fertilité des sols comme l'absence de référence technique en matière de fertilisation minérale, le manque d'encadrement technique, la disponibilité aléatoire et le coût élevé des engrais minéraux, la dégradation des sols et le manque de connaissance des agriculteurs sur les méthodes et moyens alternatifs de gestion de la fertilité.

Les exploitations agricoles du Plateau de Rochelois sont de petite taille (≤ 2.24 ha), ce qui fait que les superficies emblavées en carotte sont faibles, 0.32 ha en moyenne. La durée des jachères est relativement courte et, pour renouveler la fertilité des sols, les agriculteurs ont toujours recours à l'utilisation des engrais minéraux. Les engrais les plus

utilisés sont le 12-12-20, 16-10-20 et l'urée (46-0-0). Les doses appliquées varient en fonction des moyens financiers des agriculteurs, de la disponibilité et du coût des engrais sans être basé sur une référence technique fiable. Elles correspondent à 66,98 à 100,47 kg/ha N ; 66,98 à 100,47 kg/ha P₂O₅ ; et 111,63 à 167,44 kg/ha K₂O. La littérature recommande en moyenne 110, 80 et 270 kg/ha respectivement de N, de P₂O₅ et de K₂O pour un objectif de rendement moyen de 45 t/ha (16, 21).

Caractéristiques physico-chimiques des sols du Plateau de Rochelois (axe Paillant/ Salagnac/ Sault-du-Baril)

Les principaux éléments nutritifs dont les plantes ont besoin pour croître et se développer sont l'azote, le phosphore et le potassium qu'elles puisent dans le sol. L'absorption de ces éléments est facilitée par la teneur en matière organique et en carbone organique, par la conductivité électrique, la capacité d'échange cationique et la texture des sols. Ces paramètres ont été considérés pour évaluer les contraintes des sols du Plateau de Rochelois (axe Paillant/ Salagnac/ Sault-du-Baril) au regard des exigences de la culture de la carotte. Les résultats des analyses n'ont pas montré de contraintes majeurs des sols en termes de pH et de teneur en azote total. La valeur moyenne mesurée du pH a été de 6,74 (Tableau 1) contre 5,8 à 6,8 recommandées. Il en est de même pour l'azote total dont la valeur mesurée a varié de 0.19 à 0.6% (0.31% en moyenne) contre 0.1% recommandée (7). Toutefois, selon Dabin (10), la teneur en azote du sol doit être interprétée par rapport au pH. Pour un pH compris entre 6.5 et 7, un sol est considéré comme bon quand la teneur en azote totale est comprise entre 0,45 et 1%. La teneur moyenne en phosphore assimilable a été de 59.95 ppm, dépassant les limites d'adéquation fixées à 30,8 à 46,15 ppm pour la culture, et celle du potassium échangeable a varié de 0.05 à 1.5 méq/100g, avec une moyenne de 0,4 méq/100 g

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des sols du Plateau de Rochelois (axe Paillant / Salagnac / Sault-du-Baril)

Paramètre	Plateau de Rochelois	LA	Référence
pH	6,74	5,8-6,8	7
MO (%)	5,19	1-3	27
CO (%)	3,01	1,1	12
Total N (%)	0,31	0,1	7
C/N	9,70	8-12	12
P ass. (ppm)	59,95	30,8-46,15	27
K éch (méq/100g)	0,4	0,24-0,30	27
CEC (méq/100g)	9,52	12-20	9
S / A / L ratio (%)	48,13/40,83/11,04	40/20/40	7
Texture	Argilo-sableuse	Limon	

Légende : MO= matière organique ; CO= carbone organique ; Total N= azote total ; C/N= rapport carbone/azote ; CEC= capacité d'échange cationique ; K éch = potassium échangeable ; P ass = phosphore assimilable ; S/A/L ratio= ratio sable/argile/limon; LA= limite d'adéquation.

Tableau 2. Résultats de l'analyse de variance des données de rendement en fonction de la séquence de rotation et des doses de NPK dans les différents blocs des essais en station

SV	DI	SC	CM	F	Valeur p
SeqR	1	2291863	2291863	4,3116	0,05096
NPK	5	127308839	25461768	47,9002	1,881e-10 ***
Bloc (SeqR)	4	1878081	469520	0,8833	0,49167
SeqR*NPK	5	5725501	1145100	2,1542	0,10051
Résiduelle	20	10631167	531558		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

contre une limite minimale d'adéquation admise de 0,4 méq/100 g (27).

Les teneurs en matière organique et en carbone organique des sols ont varié respectivement de 3,1 à 12,17% et de 1,80 à 7,06%, respecti-

vement, avec des moyennes de 5,19% et 3,01%. Les limites admises sont de 1 à 3% (27) et 1,1% (12), respectivement. De même, le rapport C/N de 9,70 est jugé adéquat comparé aux limites admises de 8 à 12 (12). En revanche, la capacité

d'échange cationique (CEC) des échantillons analysés a varié de 6 à 13,6 méq/100g, avec une moyenne de 9,52 méq/100g inférieure aux limites admises de 12 à 20 méq/100g (9, 11). Cette faible CEC signifie que les sols du Plateau de Rochelois ne retiennent pas très bien les nutriments qui deviennent sujets à lixiviation dans des conditions de pluviométrie élevée; ce qui limite le niveau de fertilité (7). Similairement, la texture est argilo-sableuse alors que celle recommandée est limoneuse.

Effet de la séquence de rotation et de la fertilisation minérale sur le rendement de la carotte dans l'essai en station

Les résultats de l'essai de fertilisation minérale de la carotte en combinaison avec la séquence de rotation avec le haricot et la jachère ont montré que la valeur p correspondant à l'interaction entre les deux facteurs est de 0,10, supérieure à la valeur alpha (0,05) de référence (Tableau 2). Les courbes de réponse à la dose de NPK dans la figure 2 ont approximativement la même allure, suggérant une absence d'interaction significative. L'application des doses croissantes d'éléments fertilisants (NPK) se traduit par une augmentation du rendement de la culture jusqu'à la dose de 200, 120 et 200 kg/ha d'azote, de phosphore et de potassium, respectivement (Figure 3).

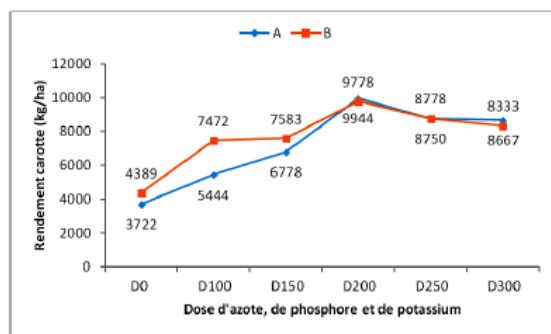


Figure 2. Effets interactifs de l'engrais minéral et de la séquence de rotation avec le haricot et la jachère sur le rendement de la carotte sur le Plateau de Rochelois dans les essais en station

Légende : D0= aucune application d'engrais minéral ; D100= 100, 60 et 100 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D150= 150, 90 et 150 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D200= 200, 120 et 200 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D250= 250, 150 et 250 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D300 = 300, 180 et 300 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement.

A = séquence carotte-haricot-jachère ; B = séquence haricot-carotte-jachère.

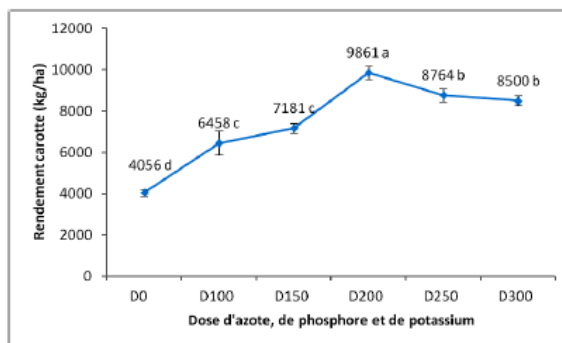


Figure 3. Effet principal de l'engrais minéral sur le rendement de la carotte sur le Plateau de Rochelois dans les essais en station

N.B. Les moyennes accompagnées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes à 5% de probabilité.

Légende : D0= aucune application d'engrais minéral ; D100= 100, 60 et 100 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D150= 150, 90 et 150 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D200= 200, 120 et 200 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D250= 250, 150 et 250 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D300 = 300, 180 et 300 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement.

Tableau 3. Résultats de l'analyse de variance des données de rendement en fonction de la séquence de rotation et des doses de NPK dans les différents blocs des essais participatifs

SV	DI	SC	CM	F	Valeur p
SeqR	1	8834102	8834102	10.3302	0,0043541 **
NPK	5	128316367	25663273	30.0096	0,00000001213 ***
Bloc (SeqR)	4	26461417	6615354	7.7357	0,0006154 ***
SeqR*NPK	5	5483039	1096608	1.2823	0,3103687
Résiduelle	20	17103397	855170		

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Globalement, la séquence B (haricot-carotte-jachère), avec 7722 kg/ha, a tendance à donner un rendement plus élevé que la A (carotte-haricot-jachère) avec 7218 kg/ha, comme le montre la figure 4, mais la différence n'a pas été significative à $\alpha=0,05$ ($p=0,05096$).

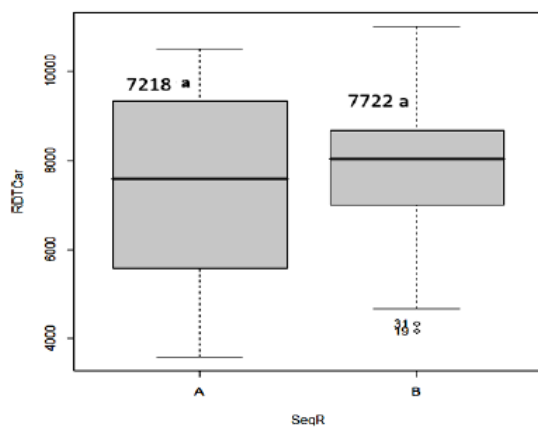


Figure 4. Effet principal de la séquence de rotation sur le rendement de la carotte sur le Plateau de Rochelois dans les essais en station

N.B. Les moyennes accompagnées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes à 5% de probabilité. SeqR= séquence de rotation ; RDTCar= rendement de la carotte en kg/ha.

A = séquence carotte-haricot-jachère ; B = séquence haricot-carotte-jachère.

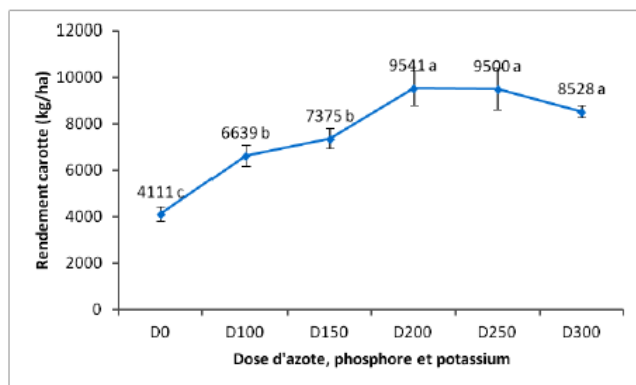


Figure 6. Effet principal de l'engrais minéral sur le rendement de la carotte sur le Plateau de Rochelois dans les essais participatifs

N.B. Les moyennes accompagnées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes à 5% de probabilité. Légende : D0= aucune application d'engrais minéral ; D100= 100, 60 et 100 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D150= 150, 90 et 150 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D200= 200, 120 et 200 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D250= 250, 150 et 250 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D300 = 300, 180 et 300 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement.

Effet de la séquence de rotation et de la fertilisation minérale sur le rendement de la carotte dans les essais participatifs

Les résultats des essais participatifs de fertilisation minérale de la carotte en combinaison avec la séquence de rotation avec le haricot ont montré que la valeur p correspondant à l'interaction entre les deux facteurs est de 0,31, largement supérieure à la valeur alpha (0,05) de référence (Tableau 3). Donc, comme dans l'essai en station, la réponse de la carotte à la fertilisation minérale ne dépend pas de la séquence de rotation en essais parti-

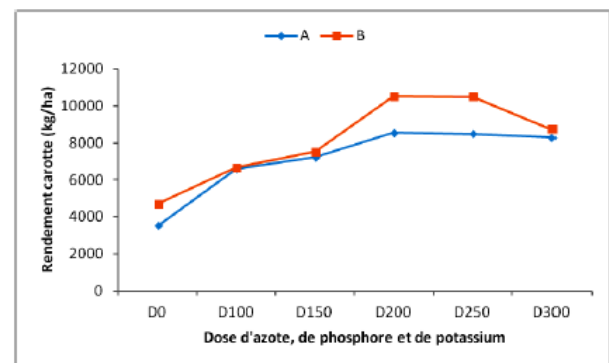


Figure 5. Effets interactifs de l'engrais minéral et de la séquence de rotation avec le haricot et la jachère sur le rendement de la carotte sur le plateau de Rochelois dans les essais participatifs

Légende : D0= aucune application d'engrais minéral ; D100= 100, 60 et 100 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D150= 150, 90 et 150 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D200= 200, 120 et 200 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D250= 250, 150 et 250 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D300 = 300, 180 et 300 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement.

A = séquence carotte-haricot-jachère ; B = séquence haricot-carotte-jachère.

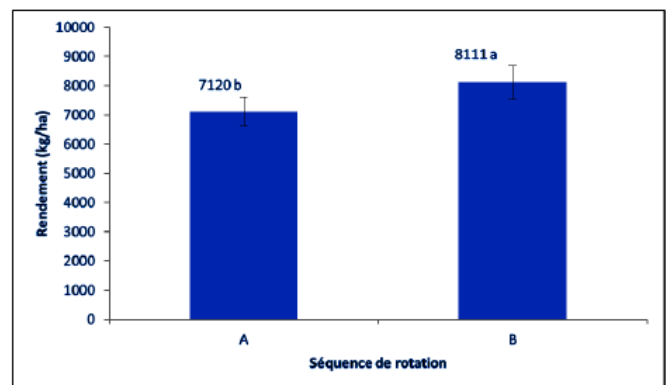


Figure 7. Effet principal de la séquence de rotation sur le rendement de la carotte sur le Plateau de Rochelois dans les essais participatifs

N.B. Les moyennes accompagnées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes à 5% de probabilité.

A = séquence carotte-haricot-jachère ; B = séquence haricot-carotte-jachère.

cipatifs. L'augmentation de la dose de NPK a entraîné celle du rendement de la carotte jusqu'à la combinaison de 200, 120 et 200 kg/ha d'azote, de phosphore et de potassium, respectivement, à partir de laquelle un plateau a été observé (Figure 5 et 6). Des résultats similaires ont été obtenus par Tabo *et al.* (28) ; Palé *et al.* (22) et Evers (14) sur d'autres cultures.

La position des courbes de réponse à la dose de NPK dans la figure 5 a montré également que le rendement est plus élevé pour la séquence de rotation B (haricot – carotte – jachère) en comparaison avec la séquence A (carotte – haricot – jachère). De plus, la figure 7 montre que globalement, la séquence B, avec 8111 kg/ha, a donné un rendement significativement plus élevé que la A (7120 kg/ha). La supériorité de la séquence B par rapport à A tient au fait que le haricot comme légumineuse comporte des nodosités sur ses racines contenant des bactéries symbiotiques du genre *Rhizobium* capables de transformer l'azote atmosphérique non assimilable en nitrates pouvant être absorbés par la carotte. Les résultats obtenus sont en concordance avec Fening *et al.* (15) et Bado (3) qui ont obtenu des résultats similaires avec le niébé et l'arachide qui, par leur capacité fixatrice de l'azote atmosphérique, permettaient l'augmentation des rendements des cultures subséquentes dans les rotations.

Récapitulatif des résultats des essais participatifs et en station relatifs aux effets de la séquence de rotation avec le haricot et de la fertilisation minérale sur le rendement de la carotte

La figure 8 résume les principaux résultats pour les essais participatifs et en station. Tant dans les essais participatifs que dans ceux en station, ainsi que dans les deux séquences de rotation, le rendement de la carotte a augmenté avec la dose de NPK jusqu'à la combinaison 200, 120 et 200 kg/ha d'azote, de phosphore et de potassium, respectivement. L'utilisation de la séquence de rotation B (haricot-carotte-

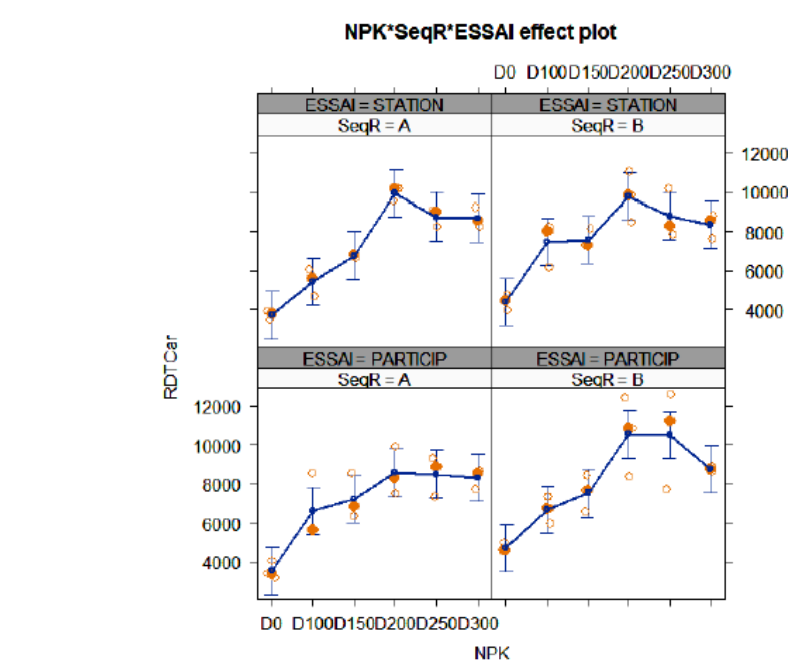


Figure 8. Graphes résumant les tendances des rendements moyens de la carotte en fonction de la dose de NPK et de la séquence de rotation dans les essais participatifs et en station sur le Plateau des Rochelois

Légende : D0= aucune application d'engrais minéral ; D50= 50, 30 et 50 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D100= 100, 60 et 100 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D150= 150, 90 et 150 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D200= 200, 120 et 200 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D250= 250, 150 et 250 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement ; D300 = 300, 180 et 300 kg/ha d'N, de P et de K, respectivement.

A = séquence carotte-haricot-jachère ; B = séquence haricot-carotte-jachère.

jachère) a été associée à une augmentation du rendement de 6,98% dans les essais en station et de 13,92% dans les essais participatifs, en comparaison à séquence A (carotte-haricot-jachère).

Conclusion

Les résultats ont montré que la carotte fait partie des quatre principales cultures d'importance économique pour les agriculteurs du Plateau de Rochelois à côté de l'igname, du chou et du haricot. Malgré sa position dominante, son rendement est faible sur le Plateau (3,6 t/ha) comparé au rendement moyen mondial de 38 t/ha.

Les analyses de laboratoire ont montré que les caractéristiques des sols satisfont aux conditions minimales requises pour la culture. Cependant, leur capacité d'échange cationique est faible ; ce qui expose les nutriments à la lixiviation, rend la gestion durable de la fertilité plus difficile et augmente de risque de pollution des sources en aval.

Les résultats des essais ont montré

que la meilleure dose de NPK est la combinaison de 200, 120 et 200 kg/ha d'azote, de phosphore et de potassium, respectivement et la séquence de rotation B (haricot-carotte-jachère) est supérieure à la A (carotte-haricot-jachère). Ces résultats confirment l'hypothèse de départ que le rendement de la carotte sur le Plateau des Rochelois est limité par le manque de fertilité des sols. Toutefois, la fertilité n'est pas le seul facteur limitant parce que même les rendements expérimentaux ont été inférieurs à 10 t/ha. D'autres recherches utilisant une approche intégrée sont nécessaires pour contrôler les facteurs les plus déterminants simultanément.

Remerciements

Le travail rapporté dans cet article a été réalisé dans le cadre d'un projet du Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR) financé par la Banque Interaméricaine de Développement (BID) et le Fonds International de Développement Agricole (FIDA). Il a bénéficié

du support administratif de la FAMV, de l'Alliance Agricole Internationale (AAI) et de l'Université de McGill. Les auteurs remercient ces institutions. Nous remercions aussi avec gratitude nos collaborateurs à la FAMV (Estherline Coléus Sagesse et Ania Levasseur Tessono), à AAI (Robens Andrécy et Paul Hesen Saint-Louis) et à l'Université de McGill (Clarck Grant Osborne et Joann Whalen).

Contribution des auteurs

PD: Conception de l'étude, acquisition de fonds, développement de méthodologie, gestion du projet, supervision, analyse de données, conception du premier draft, rédaction, révision, correction. GD: supervision, analyse de données, rédaction, révision, correction. RPT: Conception, supervision, révision, correction. PR: collecte et saisie de données. PDJ : recherche bibliographique, traitement de données, révision, correction. ONC: révision, correction. HA: supervision, analyse de données.

Références bibliographiques

1. Aldéus A. J. 2023. Production végétale sur le Plateau des Rochelais : analyse au regard du revenu et de la sécurité alimentaire et nutritionnelle. Mémoire d'Ingénieur-Agronome, FAMV/ UEH, Haïti.
2. Agricultural Technology Centre (ATC) | Soil Calculator (agritechcenter.com.np) (accédé le 10 juin 2024)
3. Bado, B.V. 2002. Rôle des légumineuses dans la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du burkina faso. Thèse de Doctorat, Faculté des études supérieures de l'Université Laval.
4. Ben Nouioua I. Chaima D. 2019. Caractérisation morphologique et l'effet du stress salin sur le comportement de quelques variétés de carotte (*Daucus carota* L.) cultivée dans la région de M'sila. Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf, M'Sila, 93p.
5. Benincasa, P., Tosti, G., Guiducci, M., Farneselli, M., et Tei, F. 2017. Crop rotation as a system approach for soil fertility management in vegetables. *Advances in research on fertilization management of vegetable crops*, 115-148. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53626-2_5
6. Biauou, O. D. B., Saidou, A., Bachabi, F. X., Padonou, G. E., et Balogoun, I. 2017. Effet de l'apport de différents types d'engrais organiques sur la fertilité du sol et la production de la carotte (*Daucus carota* L.) sur sol ferrallitique au sud Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(5), 2315-2326. doi : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.29>
7. Brandenberger, L., Zhang, H. et Roberts, W. 2009. Soil Test Interpretations For Vegetable Crops. Oklahoma Cooperative Extension Service. <https://scholar.google.com> (accédé le 11 juin 2024).
8. CTIFL. 2023. Carotte, Memento des Fruits et légumes /<https://memento.ctifl.fr/fiche/legumes/carotte> & <https://www.ctifl.fr>
9. Collaud G., Ryser J. et Schwarz J. 1990. Capacité d'échange des cations. *Revue suisse Agric.* 22, 285-289. <https://scholar.google.com> (accédé le 11 juin 2024).
10. Dabin, B. 1970. Les facteurs de fertilité des sols des régions tropicales en culture irriguée. *Bulletin de l'Association Française pour l'Étude du Sol*, 130 p. <https://scholar.google.com> (accédé le 11 juin 2024).
11. Do, D.T., 2023. Évaluation de la santé des sols urbains : étude de cas sur le campus de l'UCLouvain. Faculté des bioingénieurs, Université catholique de Louvain.
12. Dombret, L. 2022. Interpréter l'analyse de terre pour la culture maraîchère : Comprendre les résultats.
13. Duvivier, P., Tescar R. P., Halliday, C., Murphy M. M., Guell, C., Howitt, C., Augustus, E., Haynes, E. et Unwin, N. 2024. Differences in income, farm size and nutritional status between female and male farmers in a region of Haiti. *Front. Sustain. Food Syst.* 8:1275705. doi: 10.3389/fsufs.2024.1275705
14. Evers, A.-M. 1988. Effects of different fertilization practices on the growth, yield and dry matter content of carrot. *Agricultural and Food Science*, 60 (2), 135-152. [https://journal.fi/afs/article/view/72284/34080?](https://journal.fi/afs/article/view/72284/34080?acceptCookies=1)
15. Fening, J. O., Dogbe, W., et Danso S. K. A. 2001. Assessment of the potential to improve N fixation by cowpea (*Vigna unguiculata* L.) in Ghanaian soils. *American Journal of Alternative Agriculture* 16(2):57-65. doi: 10.1017/S0889189300008924
16. Landry, C., Joseph C. A., Houde, S., Forest-Drolet, J. et Grenier, M. 2021. Fertilisation de la carotte en sol minéral. Mandat IRDA de révision des valeurs scientifiques de référence en fertilisation du Québec. <https://scholar.google.com> (accédé le 11 juin 2024).
17. Lecomte, M. 2013. Analyse des mécanismes de défense de la carotte (*Daucus carota*) face au champignon pathogène *Alternaria dauci*, responsable de l'alternariose ou brûlure foliaire. Thèse de Doctorat, Université Nantes Angers le Mans. <https://scholar.google.com> (accédé le 11 juin 2024).
18. Mahotière, J. R. 2004. Culture de la carotte sur le Plateau de Rochelais (Platon-Jovin, Dupouille) : Incidences agronomiques sur les systèmes de culture et revenus générés. Mémoire d'Ingénieur-Agronome, FAMV/ UEH, Haïti.
19. Museau, H. 2003. Diagnostic de la filière carotte (*Daucus carota* L.) au niveau du Plateau de Rochelais. Mémoire d'Ingénieur-Agronome, FAMV/ UEH, Haïti.
20. National Aeronautics and Space Administration (NASA), (2024). Prediction of Worldwide Energy

- Resource (POWER) at <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
21. Neuweiler, R. et Krauss, J. 2017. Fertilisation des cultures maraîchères. Agroscope, 8820 Wädenswil, Suisse. https://www.agrarforschungschweiz.ch/wp-content/uploads/pdf_archive/2017_06_f2303.pdf (Consulté, le 23 avril 2024)
 22. Palé, S., Mason, S.C., Taonda, S. J. B. 2009. Water and fertilizer influence on yield of grain sorghum varieties produced in Burkina Faso. / <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02571862.2009.10639939>
 23. Que, F., Hou, X. L., Wang, G. L., Xu, Z. S., Tan, G. F., Li, T., ... & Xiong, A. S. (2019). 2019. Advances in research on the carrot, an important root vegetable in the Apiaceae family. *Horticulture Research*, Volume 6, 2019, 69, doi:10.1038/s41438-019-0150-6
 24. Reduron, J. P. 2007. Ombellifères de France (Vol. 2). Société Botanique du Centre-Ouest. <https://scholar.google.com> (accédé le 11 juin 2024).
 25. Simon P. W., Freeman R. E., Vieira J. V., Boiteux L. S., Briard M., Nothnagel T., Michalik B. et Kwon Y. S. 2008. Carrot. In : Prohens J. et Nuez F. (eds). *Vegetables II - Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae*. Springer, New York, 327-357. <https://scholar.google.com> (accédé le 11 juin 2024).
 26. St-Pierre, J. L. 2022. Contribution au maraichage périurbain par l'analyse de la production maraîchère dans la commune de Kenscoff (Haïti): Cas de la section communale de Grand Fond. Mémoire de Master, Université de Liège, Liège, Belgique. <http://hdl.handle.net/2268.2/16318>
 27. Szelag-Sikora, A., Sikora, J., Niemiec, M., Gródek-Szostak, Z., Kapusta-Duch, J., Kuboń, N., Komorowska, M. and Karcz, J. Impact of Integrated and Conventional Plant Production on Selected Soil Parameters in Carrot Production. / <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/20/5612>
 28. Tabo R., Bationo A., Hassane O., Amadou B., Fosu M., Sawadogo-Kabore S., Fatondji D., Ouattara K., Abdou A. et Koala S. 2009. Microdosage des engrais pour la prospérité des agriculteurs pauvres en ressources : Actes du Programme défi du CGIAR sur l'eau et l'atelier international de l'alimentation sur les systèmes de cultures pluviales, Tamale, Ghana. E Humphreys et Bayot (eds). Le Programme défi du CGIAR RS sur l'eau et de l'Alimentation, Colombo, Sri Lanka pp. 269-279 p. <https://scholar.google.com> (accédé le 11 juin 2024).