



National University of Agriculture

Sciences and Technologies for Sustainable Agriculture (STSA)

ISSN: 1659-5726 (Online) 1659-634X (Print) <https://www.stsa.una.bj/index.php/st>

VOLUME 4 N° 2 (ORIGINAL ARTICLE)

*Étude comparative de la culture hors-sol et en plein champ du pois (*Pisum sativum*) sous irrigation à Possotomé au Bénin*

Djigbo Félicien BADOU^{1,2,3}, Corine A. SANTOS³

¹ Laboratoire des Sciences Végétales, Horticole et Forestière, Ecole d'Horticulture et d'Aménagement des Espaces Verts, Université Nationale d'Agriculture (EHAEV/UNA), 01 BP. 55, Porto Novo, République du Bénin, E-mail : fdbadou@gmail.com

² Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA), Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 526, Cotonou01, République du Bénin, E-mail : fdbadou@gmail.com

³ Laboratoire d'Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau (LHME), Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 526, Cotonou01, République du Bénin, E-mail : corinesantos41@gmail.com

Résumé

La sécurité alimentaire repose sur une production agricole de plus en plus exposée aux aléas climatiques. Sa garantie passe nécessairement par une intensification durable des systèmes de production. Cette intensification doit cependant, s'opérer dans un contexte de raréfaction des terres et des ressources en eau, justifiant ainsi l'intérêt croissant pour la culture hors-sol. Bien que cette méthode présente des avantages potentiels pour le développement durable, elle reste peu étudiée au Bénin, limitant la justification de son adoption à grande échelle. La présente étude vise à comparer les performances agronomiques du petit pois (*Pisum sativum*) cultivé en hors-sol et en plein champ. Un dispositif expérimental en split-plot a été mis en place, testant deux facteurs : la dose d'irrigation et la dose de fertilisation organique (fiente de volaille). Les paramètres de croissance (nombre de feuilles et hauteur des plants) ont été collectés hebdomadairement de la levée jusqu'à la sixième semaine, et le rendement a été évalué à la récolte. Les résultats indiquent que le système hors-sol, avec seulement 16,8 L/16,1 m², a induit de meilleures performances de croissance que le système conventionnel, pourtant irrigué avec une quantité d'eau près de quatre fois supérieure (66 L/16,1 m²). De plus, la fertilisation organique a amélioré la productivité de l'eau (73,5 g à 74,7 g pour une dose d'irrigation de 16,8 L/j) en culture hors-sol comparativement au système conventionnel (30 g pour une dose d'irrigation de 66 L/j). Ces résultats mettent en évidence le potentiel de la culture hors-sol comme alternative durable pour la production du petit pois au Bénin.

Mots clés : Culture hors-sol, Fertilisation organique, Dispositif en split-plot, *Pisum sativum*, Sud-ouest du Bénin

Abstract

Food security relies on an agricultural production system increasingly exposed to climate variability. Ensuring food security necessarily requires the sustainable intensification of production systems. However, this intensification must occur in a context of declining availability of arable land and water resources, which justifies the growing interest in soilless cultivation systems. Although this method offers potential advantages for sustainable development, it remains understudied in Benin, limiting the justification for its large-scale adoption. This study aims to compare the agronomic performance of pea (*Pisum sativum*) cultivated in soilless and open-field systems. An experimental design with split-plot was implemented, testing two factors: irrigation rate and organic fertilization rate (poultry manure). Growth parameters (leaf number and plant height) were monitored weekly from emergence until the sixth week, and yield was evaluated at harvest. The results indicate that the soilless system, with only 16.8 L/16.1 m², induced better growth performance than the conventional system, despite the latter using nearly four times more water (66 L/16.1 m²). Furthermore, organic fertilization enhanced water productivity in soilless cultivation (73.5 g to 74.7 g for a 16.8 L/d irrigation dose) compared to the conventional system (30 g for a 66 L/d irrigation dose). These results highlight the potential of soilless cultivation as a sustainable alternative for pea production in Benin.

Keywords: Soilless culture, Poultry manure, Split-plot experimental design, *Pisum sativum*, Southwestern Benin

Corresponding author: Djigbo Félicien Badou

Received in Sep 2025 and accepted in dec 2025

E-mail address: fdbadou@gmail.com

1. Introduction

L'agriculture est le socle du développement économique et social de nombreuses régions. Elle emploie plus de 50 % de la population active, fournit plus de 60 % des exportations et contribue à hauteur de plus de 30 % au produit intérieur brut (PIB) des pays en voie de développement (Benonia, 2023; World Bank, 2013; Yogi et al., 2025). Au Bénin, à l'instar des autres pays Ouest Africains, essentiellement saisonnière et pluviale (Ahossi et al., 2023; Badou et al., 2021), elle reste vulnérable aux chocs climatiques, exposant ainsi la majorité de la population qui en dépend. Dans un contexte de pression démographique croissante et de l'augmentation corrélative des besoins alimentaires et industriels, des performances accrues du secteur agricole sont impératives pour garantir la sécurité alimentaire et nutritionnelle.

En effet, la population mondiale devrait passer de 7 à 9,7 milliards d'individus à l'horizon 2050 (UNDESA, 2024), entraînant une demande accrue en ressources alimentaires et une nécessaire intensification de la production agricole à l'échelle globale. La croissance démographique la plus significative est anticipée en Afrique subsaharienne, où la population devrait doubler d'ici 2050 pour atteindre 2,5 milliards d'habitants (Delaunay & Guengant, 2019). Garantir la sécurité alimentaire et nutritionnelle ne pourra ainsi se réaliser sans une intensification durable de la production agricole. Dans cette optique, l'irrigation des terres agricoles pour une production continue s'avère un levier capital dans ce contexte de réchauffement climatique.

Néanmoins, cette volonté d'intensification se heurte à au moins deux contraintes majeures. Dans un contexte de changement global et d'urbanisation accélérée, les pressions sur les terres et les ressources en eau s'accroissent. En Afrique subsaharienne, la disponibilité en eau par habitant a diminué de 40% au cours de la dernière décennie, et la surface des terres agricoles disponibles est passée de 0,80 à 0,64 hectare par habitant entre 2000 et 2017 (FAO, 2021). Si, à l'échelle mondiale, la disponibilité en eau par habitant est passée d'environ 12 900 m³ en 1970 à moins de 7 000 m³ en 2020, elle devrait continuer de décroître pour atteindre près de 5 100 m³ en 2025 (UNEP, 2002). Il est projeté qu'à l'horizon 2050, l'Afrique subsaharienne sera la région la plus sévèrement touchée par les pénuries d'eau (Baggio et al., 2021; Liu et al., 2024). Ainsi, l'intensification agricole souhaitée doit s'opérer dans un contexte de raréfaction des ressources en eau et en terres.

Dans cette perspective, la culture hors-sol figure parmi les solutions prometteuses développées pour l'agriculture, notamment urbaine (Lakhiar et al., 2025). Cette méthode de production hors-sol, réalisée sur substrat neutre et inerte, permet d'accélérer le processus de maturation des plantes grâce à un contrôle optimal du rythme nyctéméral (Cocosol, 2017). Pratique agroécologique respectueuse de l'environnement, la culture hors-sol contribue également à réduire la pression sur le foncier agricole (Lakhiar et al., 2025)

Malgré leurs avantages potentiels pour le développement durable (Savvas & Gruda, 2018; Tüzel et al., 2019), les techniques de la production hors-sol n'ont fait l'objet que de très peu d'études en Afrique et au Bénin (Ayinde et al., 2024), notamment pour quantifier les gains de productivité qu'elles induisent et, par conséquent, justifier la

nécessité de leur adoption à plus large échelle. La présente étude qui se veut exploratoire, et qui propose une analyse comparative entre la culture hors-sol et la culture en plein champ du petit pois (*Pisum sativum*), vise à combler cette lacune.

Le choix de cette légumineuse est motivé par trois ordres de raisons. Sur le plan nutritionnel, le petit pois est riche en vitamines B et C, en fibres, en protéines végétales et en divers micronutriments essentiels (magnésium, potassium, calcium), et ce, même après cuisson (Wu et al., 2023). Sur le plan économique, il apparaît nécessaire d'accroître la production locale afin de réduire les importations, lesquelles ont excédé 69 tonnes en 2018 (Instad, 2021). Enfin, sur le plan scientifique, en dehors des travaux d'enquête de Agoyi et al. (2019) sur la production et la commercialisation des légumineuses (dont le petit pois) dans certaines communes du Sud-Bénin, peu de recherches se sont jusqu'à présent intéressées à la gestion de l'irrigation, et encore moins à l'application de la culture hors-sol, pour la culture spécifique du petit pois.

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude

Située à environ 85 km de Cotonou, Possotomé (6°42'29" N ; 1°55'38" E), la zone d'étude, est un arrondissement de la commune de Bopa dans le département du Mono, au sud-ouest du Bénin (Figure 1). La région est caractérisée par un climat subéquatorial à quatre saisons, une pluviométrie annuelle moyenne de 800 à 1000 mm et une température moyenne annuelle d'environ 25°C (Commune de Bopa, 2017; Yabi & Afouda, 2012), favorable à la polyculture.

On y retrouve des vertisols hydromorphes (appelés « Kodji »), des sols ferrallitiques sur sédiments meubles dominants à Possotomé, et des sols hydromorphes sablo-argileux dans les bas-fonds. La végétation comprend des essences forestières telles que *Adansonia digitata*, *Ceiba pentandra*, et des périmètres reboisés, ainsi que des graminées et des palétuviers en bordure du lac Ahémé (Commune de Bopa, 2017).

Le réseau hydrographique est dominé par le lac Ahémé, qui reçoit les eaux du fleuve Couffo. Plusieurs cours d'eau et plans d'eau saisonniers drainent les espaces cultureux, tandis que de nombreux bas-fonds humides offrent des potentialités pour les activités piscicoles et maraîchères (Commune de Bopa, 2017). C'est à ce titre que la commune de Bopa fait partie du pôle de développement agricole 7 « zone de pêche et de maraîchage ».

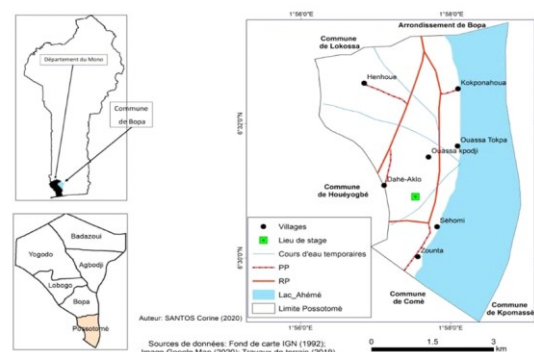


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

2.2. Méthodes

Cette étude exploratoire a comparé la culture hors-sol et la culture en plein champ du petit pois (*Pisum sativum*) sur la ferme « Ahémé Agri-Land » (Latitude :6°42'29"N ; Longitude :1°55'38"E) sise à Ouassa-Tokpa dans l'arrondissement de Possotomé. Elle a utilisé un dispositif en split-plot de 16,1 m² constitué d'unités parcellaires de 4,2 m² (3,5 m * 1,2 m) (Figure 2).

Deux facteurs principaux ont été analysés : la dose d'irrigation (16,8 L/16,1 m² à raison de 0,23 L/contenant en culture hors-sol contre 66 L/16,1 m² à raison de 22L/planche en plein champ) et la quantité de matière organique sous forme de fiente de volaille (0, 0,5 et 1 kg par plant). Le système hors-sol a intégré deux types de substrats, la fibre de coco (FC) et le sable chauffé (SF), permettant d'évaluer la robustesse technique des performances sur différents supports inertes.

L'irrigation, manuelle et quotidienne, a été déterminée de façon empirique sur le site sur la base de la capacité de rétention en eau des substrats et du sol. En plein champ, un arrosoir de 11 L a été utilisé tandis qu'en culture hors-sol, nous avons recouru à un récipient gradué. Les apports de matières organiques (MO) ont été réalisés à deux reprises notamment après la levée et durant la floraison.

L'expérimentation s'est déroulée d'août à mi-octobre 2020. Le semis de la variété précoce pied nain (cycle végétatif de 2 à 2,5 mois) a été initié au début du mois d'août.

Les paramètres de croissance (hauteur et nombre de feuilles) ont été mesurés hebdomadairement pendant six semaines. Le rendement final (nombre de pois, masse des pois avec et sans gousse) a été évalué à maturité. Afin de garantir la fiabilité des tendances observées malgré le site unique, l'ensemble des paramètres de croissance et de rendement a été collecté sur l'intégralité des plants de l'expérimentation. Cette approche visait à identifier des tendances générales plutôt qu'à tester des différences statistiques fines entre les traitements.

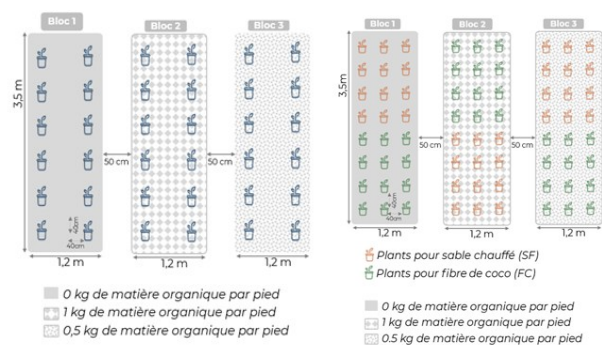


Figure 2 : Dispositif expérimental en plein champ (à gauche) et en culture hors-sol (à droite). SF symbolise le sable chauffé, FC la fibre de coco.

3. Résultats et discussion

Cette étude s'inscrit dans une démarche exploratoire visant à dégager des tendances agronomiques majeures en conditions réelles de production. La section actuelle présente une analyse comparative des performances agronomiques du pois (*Pisum sativum*) selon le système de culture et les doses d'irrigation et de fertilisant organique. D'une part,

elle examine l'effet du régime d'irrigation sur la production du pois en culture conventionnelle et hors-sol. D'autre part, elle évalue l'influence des apports de fientes de volaille sur les paramètres de croissance et de rendement dans ces deux systèmes culturaux.

3.1. Régime d'irrigation et performances agronomiques du petit pois sous les deux systèmes de culture

3.1.1. Effets du régime d'irrigation sur les paramètres de croissance du petit pois

La Figure 3 présente l'évolution de la hauteur et du nombre de feuilles des plants de pois (*Pisum sativum*) au cours des six premières semaines de culture. Bien que le rythme de croissance suive une tendance similaire entre les deux systèmes, les plants cultivés en culture hors-sol présentent une hauteur supérieure à ceux en plein champ. Cette différence pourrait s'expliquer par une réduction des pertes d'eau dans le système hors-sol, où les phénomènes d'évaporation, de compétition avec les adventices et d'infiltration sont maîtrisés (Lakhiar et al., 2025). De même, le nombre de feuilles par plant est plus élevé en culture hors-sol, confirmant la meilleure efficacité de ce système dans l'utilisation de l'eau et la croissance végétative.

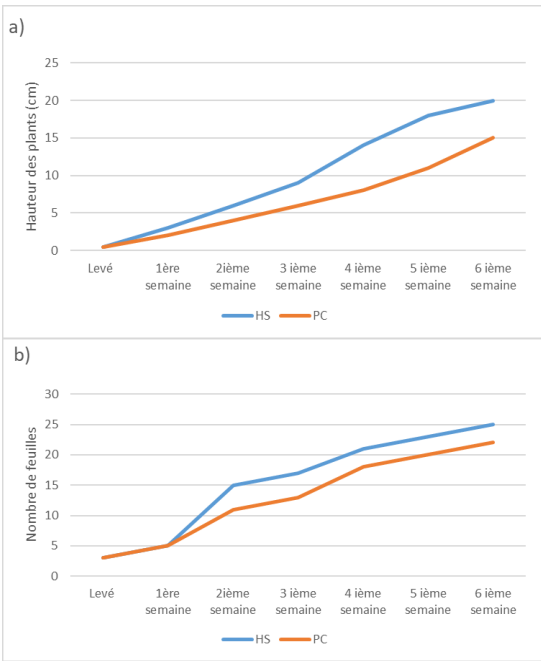


Figure 3: Variation de la hauteur (a) et du nombre de feuilles (b) des plants de petit pois en fonction du système de cultures. HS est l'abréviation de culture hors-sol, PC de la culture en plein champ.

3.1.2. Effets du régime d'irrigation sur le rendement du petit pois

Le Tableau 1 présente les rendements obtenus sous les deux systèmes de culture après les premières et deuxièmes récoltes. Une différence notable réside dans la capacité de repousse après récolte: alors que les plants en plein champ présentent un dessèchement, ceux cultivés en culture hors-sol reflorissent et produisent une deuxième récolte. Les rendements sont supérieurs en système hors-sol, soulignant son potentiel pour une production intensive.

Tableau 1 : Paramètres de rendement du petit pois en fonction du régime d'irrigation sous culture hors-sol et en plein champ. SF signifie sable chauffé, FC fibre de coco et PC en plein champ.

SF*	FC*	PC**
Masse moyenne d'une gousse (g)		
5	4	3
Masse moyenne des pois / gousse (g)		
4	3	2
Nombre de pois/ gousse		
2-3	1-2	1-2
Nombre total de grains sur 12 plants		
56	49	30
Masse totale des pois de 12 plants (g)		
74,7	73,5	30

*En culture hors-sol (avec le sable chauffé et la fibre de coco comme substrats), les parcelles ont reçu une dose d'irrigation de 16,8 L/16,1 m²

**En plein champ, les parcelles ont reçu une dose d'irrigation de 66 L/16,1 m²

Cette étude met ainsi en évidence la meilleure productivité de l'eau de la culture du petit pois en système hors-sol. Les travaux de Soura et al. (2024) sur la production de laitue (*Lactuca sativa*) sous un système hors-sol utilisant des fibres de coco (*Cocos nucifera*) au Burkina Faso ont démontré une réduction de 75 % de la consommation d'eau par unité de surface, tout en maintenant des rendements équivalents à ceux de l'agriculture conventionnelle. Ces auteurs attribuent ces résultats à la capacité de rétention en eau élevée des fibres de coco, qui optimise l'efficacité d'utilisation de l'eau tout en garantissant une production sans résidus de pesticides.

3.2. Fertilisation organique et performances agronomiques du petit pois sous les deux systèmes de culture

3.2.1. Effets de la fertilisation organique sur les paramètres de croissance du petit pois

La Figure 4 illustre l'effet de trois doses de fiente de volaille sur la hauteur des plants dans les deux systèmes. L'apport de matière organique (MO) améliore la productivité de l'eau, avec un effet plus marqué en culture hors-sol. Une relation dose-réponse positive est observée ; une augmentation de la dose de MO améliore la croissance, et cet effet est mieux valorisé en culture hors-sol, vraisemblablement en raison d'une meilleure efficacité d'utilisation des nutriments liée à la réduction du lessivage, et de la percolation de l'eau.

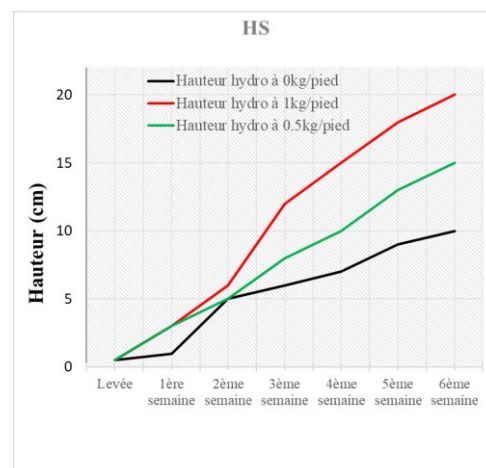


Figure 4: Variation de la hauteur des plants de petit pois en fonction de la dose de fientes de volaille appliquée. HS signifie culture hors-sol, PC culture en plein champ.

Des tendances similaires sont observées pour le nombre de feuilles (Figure 5). L'ajout de MO améliore ce paramètre, bien que la réponse ne soit pas exponentielle. A nouveau, le système hors-sol montre une meilleure efficacité d'utilisation des nutriments, conduisant à une croissance végétative supérieure.

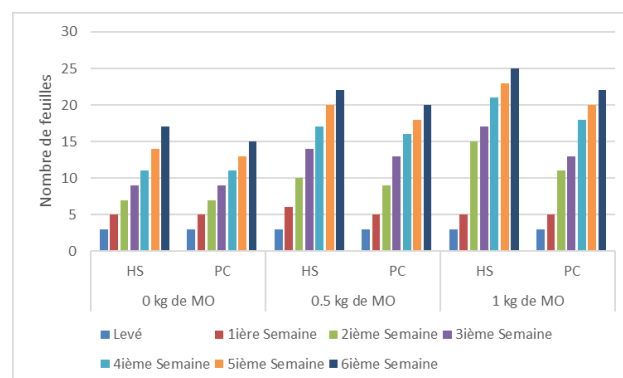


Figure 5 : Effets de la dose de fiente de volaille sur le nombre de feuilles. HS symbolise la culture hors-sol, PC la culture en plein champ, MO la fiente de volaille.

3.2.2. Effets de la dose de fiente de volailles sur le rendement du petit pois

Le Tableau 2 présente l'effet de la fertilisation organique sur les composantes du rendement (nombre de grains par gousse, et la masse des pois).

Tableau 2: Paramètres de rendement du petit pois en fonction de la dose de fiente de volaille appliquée en culture hors-sol et en plein champ. SF signifie sable chauffé, FC fibre de coco et PC en plein champ.

	Bloc 1 (0 kg/plant)	Bloc 2 (1 kg/plant)	Bloc 3 (0,5 kg/plant)
	Nombre de pois par gousse		
SF	0	3	2
FC	0	2	1
PC	0	2	1
	Masse des pois de 12 plants (g)		
SF	0	47	28
FC	0	43	30
PC	0	18	12

Les plants n’ayant reçu aucune MO (lot témoin) n’ont pas fleuri, confirmant que la fertilisation organique est indispensable pour la reproduction et la formation des gousses. Le lot ayant reçu une dose de 1 kg/plant a produit deux récoltes successives, démontrant une excellente vigueur et une capacité de repousse. En revanche, une dose réduite (0,5 kg/pied) a conduit à la formation de gousses partiellement vides ou de petits grains, indiquant un effet carenciel lors du remplissage des gousses. Sossa et al. (2024) ont également révélé que l’ajout de fiente de volaille au compost de couronnes d’ananas, de résidus de récolte d’ananas et de résidus de transformation d’ananas améliore significativement la production de la tomate à Allada au Bénin.

En outre, la performance du système hors-sol, souvent supérieure au plein champ, est documentée par Roosta et al. (2025) qui ont observé des augmentations de rendement allant jusqu’à 52 %. Si l’étude de Roosta repose sur des solutions minérales (Hoagland, Papadopoulos et Commercial), l’efficacité de notre approche organique s’explique par les mécanismes décrits par Phibunwatthanawong et Riddech (2019) : en culture hors-sol, les engrais organiques bénéficient d’une minéralisation efficace au sein des substrats. Cela limite les pertes par lessivage et garantit une meilleure biodisponibilité des nutriments (N, P, K) par rapport au sol conventionnel, expliquant ainsi pourquoi la dose de 1 kg de fiente est mieux valorisée dans nos dispositifs hors-sol.

De manière générale, la synergie entre l’irrigation et la fertilisation organique améliore la productivité de l’eau, particulièrement en culture hors-sol. Ces résultats confirment la capacité du système hors-sol à mieux valoriser les intrants, minimisant les pertes et maximisant la production. Inoussa (2022) est parvenu à une conclusion pareille pour la production de la laitue (*Lactuca Savita L.*) à Abomey-Calavi (Bénin). La plus grande capacité de rétention de l’eau des substrats utilisés en culture hors sol et l’absence de concurrence liée aux adventices ont été avancées comme les raisons justifiant les meilleurs paramètres de croissance et de rendements obtenus.

5. Conclusion

Cette étude visait à comparer les performances agronomiques de deux systèmes de culture, conventionnel (en plein champ) et hors-sol, pour la

production de petit pois (*Pisum sativum*), en évaluant spécifiquement l’influence de la dose d’irrigation et de la fertilisation organique. Un dispositif expérimental en split-plot a été mis en œuvre. Les paramètres de croissance et le rendement ont été systématiquement évalués. Les résultats confirment que le système hors-sol, avec une dose d’irrigation de 16,8 L/16,1 m², améliore davantage les paramètres de croissance par rapport au système conventionnel (66 L/16,1 m²). De plus, la fertilisation organique augmente davantage la productivité de l’eau en culture hors-sol qu’en plein champ, indiquant une meilleure valorisation des intrants dans le système hors-sol.

Face aux contraintes croissantes sur les ressources hydriques et foncières, et dans l’objectif d’accroître la production de pois, l’adoption de la culture hors-sol apparaît comme une alternative prometteuse au système conventionnel, sous réserve de validation par des répétitions expérimentales.

Ces travaux ouvrent plusieurs perspectives de recherche, incluant le perfectionnement du dispositif expérimental vers un dispositif en blocs aléatoires complets pour une meilleure fiabilité statistique des résultats, l’évaluation de l’incidence des ravageurs dans les deux systèmes de culture, et une analyse comparative des caractéristiques nutritionnelles et organoleptiques des pois produits ainsi que l’influence des substrats sur la performance agronomique.

6. References Bibliographiques

Agoyi, E. E., Kafoutchoni, M. K., Sossou, S. H., Allagbé, A., Hounguèvou, M., Assogbadjo, E. A., & Sinsin, B. (2019). Leguminous vegetables production and marketing in Southern Benin. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 15(4), 30–41. <http://www.innspub.net>

Ahossi, R., Wokou, C. G., & Yabi, I. (2023). Risques agro-climatiques et production agricole dans la commune de zogbodomey au sud-benin Agro-climatic risks and agricultural production in the municipality of zogbodomey in southern benin. *African Scientific Journal*, 3(16), 48–82. <https://africanscientificjournal.com/index.php/AfricanScientificJournal/article/download/343/326/352>

Ayinde, B. T., Nicholson, F. C., & Ahmed, B. (2024). A Review of Controlled Environment Agriculture (CEA) Vegetable Production in Africa with Emphasis on Tomatoes, Onions and Cabbage. In A. A. Abdelhafez & M. H. H. Abbas (Eds.), *Climate Smart Greenhouses - Innovations and Impacts*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.113249>

Badou, D. F., Yegbemey, R. N., & Hounkpè, J. (2021). Sectorial Climate Change Impacts and Adaptation in Benin. In *Handbook of Climate Change Management* (pp. 1–21). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22759-3_336-1

Baggio, G., Qadir, M., & Smakhtin, V. (2021). Freshwater availability status across countries for human and ecosystem needs. *Science of The Total Environment*, 792. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148230>

Benonia, R. M. (2023). The Importance of Agricultural Development Projects: A Focus on Sustenance and Employment Creation in

- Kenya, Malawi, Namibia, Rwanda, and Uganda. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 12(02), 152–170. <https://doi.org/10.4236/jacen.2023.122013>
- Cocosol. (2017). *L'agriculture hors-sol. Pour une agriculture saine, rentable et respectueuse de l'environnement*. <http://cocosol-ci.com/hydroponie.pdf>
- Commune de Bopa. (2017). *Plan de développement communal 2018-2022*. https://www.possotome.net/wp-content/uploads/2017/12/pdf_pdc3-bopa.pdf
- Delaunay, D., & Guengant, J.-P. (2019). *Le dividende démographique en Afrique subsaharienne* (Daniel Delaunay & Jean-Pierre Guengant, Eds.). IEDES - Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (Collection Monographies Sud-Nord, n°9). <https://iedespubli.hypotheses.org/monographies-sud-nord>
- FAO. (2021). *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point (SOLAW 2021)*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb7654en>
- Inoussa, N. (2022). *Etude comparative de trois systèmes de production de la laitue (Lactuca Savita L.) dans la commune d'Abomey Calavi au Bénin* [Mémoire pour l'obtention de la licence en Génie de l'Environnement]. Université d'Abomey-Calavi.
- Instad. (2021). *Rapport du bilan alimentaire 2017-2018 du Bénin selon la nouvelle méthodologie de la FAO*. https://instad.bj/images/docs/insae-publications/autres/Bilan_Alimentaire/RAPPORT%20DU%20BILAN%20ALIMENTAIRE%20DU%20BENIN%202017-2018.docx
- Lakhiar, I. A., Yan, H., Syed, T. N., Zhang, C., Shaikh, S. A., Rakibuzzaman, Md., & Vistro, R. B. (2025). Soilless Agricultural Systems: Opportunities, Challenges, and Applications for Enhancing Horticultural Resilience to Climate Change and Urbanization. *Horticulturae*, 11(6), 568. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11060568>
- Phibunwatthanawong, T., & Riddech, N. (2019). Liquid organic fertilizer production for growing vegetables under hydroponic condition. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 369–380. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0257-7>
- Liu, J., Li, D., Chen, H., Wang, H., Wada, Y., Kummu, M., Gosling, S. N., Yang, H., Pokhrel, Y., & Ciais, P. (2024). Timing the first emergence and disappearance of global water scarcity. *Nature Communications*, 15(1), 7129. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-51302-z>
- Roosta, H. R., Azad, S. H., & Mirdehghan, S. H. (2025). Comparison of the growth, fruit quality and physiological characteristics of cucumber fertigated by three different nutrient solutions in soil culture and soilless culture systems. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84773-7>
- Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry - A review. In *European Journal of Horticultural Science* (Vol. 83, Issue 5, pp. 280–293). International Society for Horticultural Science. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2>
- Sossa, E. L., Bouko, B. D. N., Agbangba, C. E., Ayifimi, J. O., Gnonsey, G. I., & Amadji, G. L. (2024). Effects of composts produced from pineapple harvest and processing residues on tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) production and fruit quality in southern Benin. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 24(12), 25329–25354. <https://doi.org/10.18697/ajfand.137.24905>
- Soura, H., Dianda, I., & Lankoande, B. (2024). Production of lettuce (*Lactuca sativa*) under a soilless system based on coconut fibers (*Cocos nucifera*). *African Journal of Agricultural Research*, 20(10), 886–895. <https://doi.org/10.5897/ajar2024.16736>
- Su, N., Wu, Q., & Cui, J. (2016). Increased Sucrose in the Hypocotyls of Radish Sprouts Contributes to Nitrogen Deficiency-Induced Anthocyanin Accumulation. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01976>
- Tüzel, Y., Gül, A., Tüzel, I. H., & Öztekin, G. B. (2019). DIFFERENT SOILLESS CULTURE SYSTEMS AND THEIR MANAGEMENT. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences*, 73(3), 7–12. <https://doi.org/10.55302/jafes19733007t>
- UNDESA. (2024). *World Population Prospects 2024: Summary of Results (UN DESA/POP/2024/TR/NO. 9)*.
- UNEP. (2002). *Vital Water Graphics. An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters*.
- World Bank. (2013). *Unlocking Africa's potential. An Action Agenda for Transformation*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/795321468191670202/pdf/769900WP0SDS0A00Box374393B00PUBLIC0.pdf>
- Wu, D.-T., Li, W.-X., Wan, J.-J., Hu, Y.-C., Gan, R.-Y., & Zou, L. (2023). A Comprehensive Review of Pea (*Pisum sativum* L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications. *Foods*, 12(13), 2527. <https://doi.org/10.3390/foods12132527>
- Yabi, I., & Afouda, F. (2012). Extreme rainfall years in Benin (West Africa). *Quaternary International*, 262, 39–43. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.12.010>
- Yogi, L. N., Thalal, T., & Bhandari, S. (2025). The role of agriculture in Nepal's economic development: Challenges, opportunities, and pathways for modernization. *Heliyon*, 11(2), e41860. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41860>