

La digitalisation dans l'agriculture marocaine: Un levier pour allier performance économique et durabilité environnementale

[Digitalization in Moroccan agriculture: A lever to combine economic performance and environmental sustainability]

Maa Fettouma

Enseignante chercheuse, Le Laboratoire de Recherche en Management des Organisations, École supérieure de technologie de Casablanca, Université Hassan II, Casablanca, Morocco

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Morocco's agricultural sector, which is essential to the economy, faces major challenges such as population growth and the effects of climate change. Digitalization is a promising solution to improve productivity, optimize yields, reduce environmental impact and better manage natural resources. By integrating technologies such as precision agriculture and smart irrigation, it becomes possible to maximize efficiency while reducing the ecological footprint. Training farmers in these digital tools plays a crucial role, improving the use of inputs and promoting more efficient water management. However, access to this training remains a significant barrier, especially for small farms, which often lack the resources to benefit from these innovations. This article aims to analyze how digitalization can reconcile economic performance and sustainability in the Moroccan agricultural sector, while identifying the levers to be activated to facilitate the adoption of these technologies.

KEYWORDS: agricultural sector, digital technologies, productivity, ecological footprint, training, Morocco.

RESUME: Le secteur agricole marocain, essentiel à l'économie, fait face à des défis majeurs tels que la croissance démographique et les effets du changement climatique. La digitalisation se présente comme une solution prometteuse pour améliorer la productivité, optimiser les rendements, réduire l'impact environnemental et mieux gérer les ressources naturelles. En intégrant des technologies telles que l'agriculture de précision et l'irrigation intelligente, il devient possible de maximiser l'efficacité tout en réduisant l'empreinte écologique. La formation des agriculteurs à ces outils numériques joue un rôle crucial, en améliorant l'utilisation des intrants et en favorisant une gestion plus efficace de l'eau. Toutefois, l'accès à cette formation demeure une barrière importante, en particulier pour les petites exploitations, qui manquent souvent des ressources nécessaires pour bénéficier de ces innovations. Cet article a pour objectif d'analyser comment la digitalisation peut concilier performance économique et durabilité dans le secteur agricole marocain, tout en identifiant les leviers à activer pour faciliter l'adoption de ces technologies.

MOTS-CLEFS: secteur agricole, technologies numériques, productivité, empreinte écologique, formation, Maroc.

1 INTRODUCTION

Le secteur agricole occupe une place stratégique dans l'économie marocaine, représentant environ 12% du PIB et employant près de 40% de la population active. Toutefois, il fait face à des défis croissants liés à la pression démographique, à la variabilité climatique et à une utilisation inefficace des ressources naturelles. Dans ce contexte, la digitalisation émerge

comme une solution prometteuse pour transformer le secteur agricole et relever ces défis tout en favorisant une agriculture plus productive, durable et inclusive.

La digitalisation, par le biais des technologies telles que l'agriculture de précision, les plateformes numériques de gestion des exploitations et l'utilisation de capteurs intelligents, permet d'optimiser les intrants agricoles, d'améliorer les rendements et de réduire l'impact environnemental des pratiques agricoles traditionnelles. Par ailleurs, ces technologies peuvent renforcer l'inclusion sociale en favorisant l'accès des petits exploitants et des agriculteurs ruraux aux outils innovants, aux financements et aux marchés.

Au Maroc, des initiatives telles que le Plan Maroc Vert et Génération Green 2020-2030 encouragent l'adoption des technologies numériques dans le secteur agricole, mais leur impact réel sur la performance économique, la durabilité environnementale et l'inclusion sociale reste encore peu exploré. Cette lacune dans la littérature justifie la nécessité d'étudier les effets concrets de la digitalisation agricole dans le contexte marocain.

Ainsi, cet article propose de répondre à la problématique suivante: **Dans quelle mesure la digitalisation du secteur agricole marocain peut-elle concilier performance économique et durabilité environnementale des exploitations agricoles ?**

Cette problématique engendre plusieurs questions cruciales qui requièrent une analyse détaillée, à savoir:

Question 1: Dans quelle mesure l'adoption de technologies numériques contribue-t-elle à l'amélioration des rendements agricoles, et quel impact cela a-t-il sur la rentabilité économique des exploitations agricoles au Maroc ?

Question 2: Comment l'adoption des technologies numériques dans le secteur agricole marocain permet-elle une gestion plus efficace des ressources naturelles, et quel effet cela a-t-il sur la réduction de l'empreinte écologique des exploitations agricoles ?

Question 3: En quoi la formation des agriculteurs à l'utilisation des technologies numériques influence-t-elle la compétitivité des exploitations agricoles ?

Pour y répondre, une analyse économique sera menée afin de quantifier les impacts des initiatives de digitalisation sur les principaux indicateurs de performance économique et durabilité. Cette étude vise non seulement à fournir des insights aux décideurs publics et aux acteurs du secteur agricole, mais également à enrichir la littérature scientifique sur la transformation numérique de l'agriculture au Maroc.

2 LA DIGITALISATION DU SECTEUR AGRICOLE

La digitalisation agricole désigne l'intégration des technologies numériques dans les pratiques et processus du secteur agricole afin d'en améliorer l'efficacité, la rentabilité et la durabilité. Comme le soulignent Wolfert et al. (2017), cette transition repose sur l'utilisation de dispositifs et outils technologiques permettant de collecter, d'analyser et d'interpréter des données, dans le but d'optimiser la gestion des exploitations agricoles et des ressources naturelles. Cette transformation numérique constitue une véritable révolution pour le secteur agricole, en réorientant les pratiques traditionnelles vers des systèmes plus modernes. Elle tire parti des avancées technologiques pour favoriser une gestion durable des ressources et renforcer la résilience face aux défis climatiques, économiques et sociaux

2.1 ÉVOLUTION DE L'AGRICULTURE NUMÉRIQUE AU MAROC

L'agriculture numérique s'impose progressivement comme une réponse incontournable aux défis mondiaux auxquels est confronté le secteur agricole, notamment l'augmentation de la demande alimentaire, les contraintes climatiques et la nécessité de préserver les ressources naturelles. À l'échelle mondiale, cette transformation repose sur l'intégration de technologies avancées telles que l'agriculture de précision, les capteurs connectés, les drones, les systèmes d'information géographique (SIG) et l'intelligence artificielle. Selon Liakos, K. G., et al (2018), ces innovations permettent non seulement d'optimiser la productivité agricole, mais également de réduire les coûts de production et les impacts environnementaux, notamment les émissions de gaz à effet de serre et la surexploitation des sols.

Au Maroc, bien que le secteur agricole représente une part significative du PIB et de l'emploi, l'adoption des technologies numériques reste à un stade émergent. La digitalisation agricole dans le pays a été amorcée grâce à des initiatives telles que le Plan Maroc Vert (2008-2020) et la nouvelle stratégie agricole Génération Green 2020-2030, qui visent à moderniser le secteur et à renforcer sa résilience face aux défis climatiques. Ces stratégies intègrent progressivement des outils numériques pour améliorer la gestion des ressources hydriques, optimiser les rendements et renforcer la compétitivité des exploitations agricoles.

Cependant, comme le soulignent Jabir, B., & Nouredine, F. (2020), l'intégration des technologies numériques au Maroc se heurte à plusieurs obstacles structurels. Parmi ces défis figurent l'insuffisance des infrastructures numériques, en particulier dans les zones rurales éloignées, et le faible niveau de formation des agriculteurs à l'utilisation de ces outils. Les petites exploitations agricoles, qui constituent la majorité du secteur au Maroc, manquent souvent des ressources financières et techniques nécessaires pour adopter pleinement ces innovations.

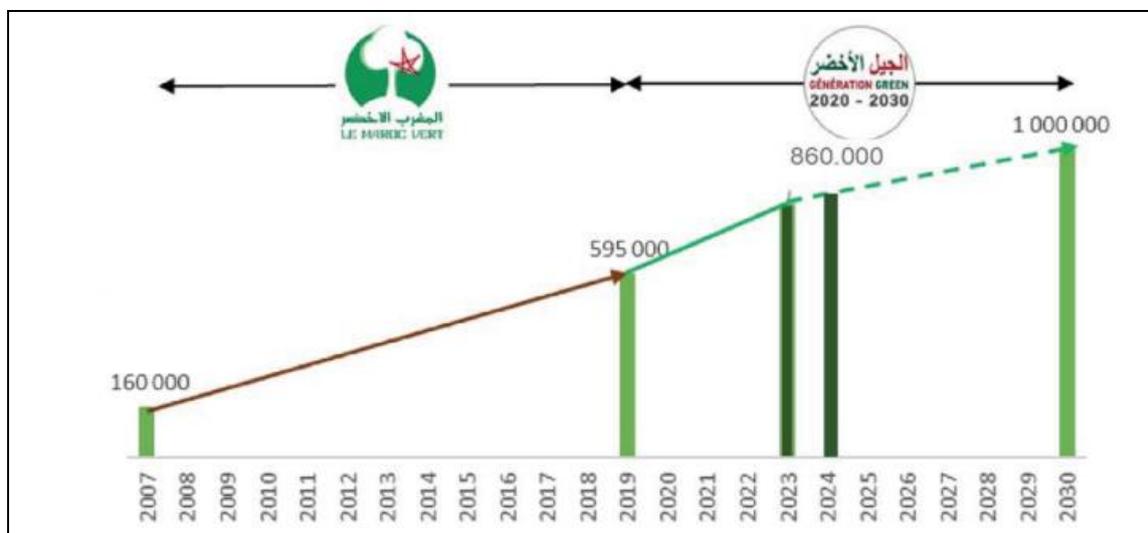


Fig. 1. Evolution des superficies équipées en irrigation localisée

Source: Ministère de l'Agriculture, de la pêche Maritime, du développement Rural et des Eaux et Forêts, (2024)

Malgré ces limites, des progrès sont observés grâce à des projets pilotes et des partenariats public-privé. Par exemple, des initiatives axées sur l'irrigation goutte-à-goutte connectée et la gestion intelligente des cultures ont permis d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans certaines régions. En outre, le développement de plateformes numériques pour la traçabilité des produits agricoles et l'accès aux marchés montre une volonté croissante de digitalisation, bien qu'elle reste inégale entre les différentes régions. Ainsi, l'agriculture numérique au Maroc, bien qu'encore en phase de transition, présente un potentiel significatif pour transformer le secteur agricole en renforçant sa durabilité et sa compétitivité. Une adoption plus large nécessitera néanmoins des investissements dans les infrastructures numériques, la formation des agriculteurs et des politiques publiques favorisant l'accès équitable à ces technologies.

2.2 TYPOLOGIE DE TECHNOLOGIES AGRICOLES ET LEURS APPLICATIONS

L'agriculture de précision, telle que définie par Bongiovanni et al. (2004), repose sur l'utilisation de technologies avancées pour collecter et analyser des données spécifiques sur des parcelles agricoles. Elle permet aux agriculteurs d'ajuster leurs pratiques de gestion des ressources de manière plus ciblée et optimale. Cette approche technologique, combinée à l'évolution des capteurs, des drones et de l'intelligence artificielle, a transformé les pratiques agricoles traditionnelles en solutions innovantes. L'agriculture de précision favorise une optimisation des intrants (engrais, pesticides, eau), tout en augmentant les rendements agricoles et en minimisant les impacts environnementaux, notamment la dégradation des sols et les émissions de gaz à effet de serre.

En ce qui concerne les Systèmes d'Information Géographique (SIG), ils jouent un rôle central dans cette transformation en permettant la collecte et l'analyse de données géospatiales, ce qui favorise une gestion des terres agricoles à la fois précise et durable. Raihan, A., et al, (2023) démontrent que les SIG facilitent une gestion plus efficace des ressources naturelles, notamment à travers une planification stratégique prenant en compte les caractéristiques physiques des sols, les ressources hydriques disponibles et les exigences spécifiques des cultures. En outre, ces systèmes améliorent la gestion de l'irrigation en identifiant les zones nécessitant un arrosage ciblé, ce qui permet de réduire la consommation d'eau tout en maintenant une productivité élevée.

Dans le même cadre, les plateformes numériques se révèlent indispensables pour la gestion intégrée des exploitations agricoles. Liakos, K. G., et al. (2018) soulignent que ces outils numériques, alimentés par des données en temps réel, offrent

aux agriculteurs des analyses approfondies sur la performance des parcelles. Ces plateformes ne se limitent pas à la production, mais intègrent également des fonctionnalités telles que la traçabilité des produits agricoles et l'accès à des informations actualisées sur les tendances du marché. En combinant ces outils à des solutions mobiles et à l'internet des objets (IoT), les agriculteurs sont désormais en mesure de prendre des décisions plus éclairées, renforçant ainsi la résilience de leurs exploitations face aux défis économiques et climatiques.

Enfin, l'analyse des données agricoles joue un rôle pivot dans l'optimisation des performances globales des exploitations. Selon Liu et al. (2020), l'intégration de modèles basés sur les données permet de prédire les rendements des cultures avec une précision accrue, d'identifier rapidement les maladies et les ravageurs, et d'améliorer les cycles de culture en fonction des conditions environnementales. Par ailleurs, l'utilisation des big data combinée à des modèles prédictifs facilite la gestion des risques climatiques. Par exemple, les systèmes d'irrigation intelligents, soutenus par des données en temps réel, réduisent non seulement la consommation d'eau, mais assurent également une gestion plus efficace des cultures en adaptant l'irrigation aux besoins spécifiques des plantes. Ces avancées montrent à quel point les technologies numériques et analytiques transforment l'agriculture en une activité plus durable et productive.

3 DIGITALISATION: CLE DE LA SURVIE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES

La digitalisation agricole constitue un levier de modernisation pour les exploitations agricoles, leur permettant de concilier performance économique et respect de l'environnement. Elle représente une véritable révolution pour le secteur, en réorientant les pratiques traditionnelles vers des systèmes plus modernes et optimisés. En s'appuyant sur les avancées technologiques, elle favorise une gestion durable des ressources tout en renforçant la résilience face aux défis climatiques, économiques et sociaux.

3.1 LA PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DANS LE SECTEUR AGRICOLE

La performance économique dans le secteur agricole se réfère à l'efficacité avec laquelle les exploitations agricoles génèrent des rendements et des revenus à partir des ressources disponibles. Selon Gollin (2014), la performance agricole peut être mesurée à travers des indicateurs tels que la productivité des terres, le rendement des cultures et les revenus nets des agriculteurs. Une augmentation de ces indicateurs témoigne d'une gestion efficace des ressources agricoles et de la capacité des exploitations à maximiser leurs profits.

Selon Liu, Y., et al. (2018), les technologies numériques offrent des solutions telles que les capteurs, les drones, et l'agriculture de précision, permettant une gestion fine et optimisée des intrants comme l'eau, les engrais et les produits phytosanitaires. Ces technologies permettent aux exploitants agricoles de surveiller et d'ajuster leurs pratiques agricoles en temps réel, augmentant ainsi la productivité tout en réduisant les gaspillages.

Dans le même cadre, l'usage des capteurs pour l'irrigation de précision illustre bien cet impact. Zhang et al. (2019) expliquent que l'irrigation de précision permet une gestion plus rationnelle de l'eau, une ressource essentielle mais souvent rare dans les régions arides comme le Maroc. Ces systèmes intelligents permettent de délivrer de l'eau précisément aux zones qui en ont besoin, évitant ainsi le gaspillage et réduisant les coûts tout en maintenant de bons rendements.

Également, l'introduction des drones dans l'agriculture permet un suivi en temps réel des cultures, ce qui permet une détection précoce des maladies, des stress hydriques ou des besoins spécifiques des plantes. Ce suivi précis permet aux agriculteurs de prendre des décisions basées sur des données tangibles plutôt que sur des conjectures, améliorant ainsi la rentabilité et la durabilité de leurs exploitations Zhang, C., et al. (2020).

À ce stade d'analyse, la digitalisation révolutionne la performance économique des exploitations agricoles en intégrant des technologies qui permettent une gestion plus précise des ressources, une augmentation des rendements et une réduction des coûts de production. Plusieurs facteurs influencent la performance agricole. D'une part, l'accès à des infrastructures essentielles, telles que l'eau pour l'irrigation et les systèmes de transport, est déterminant pour assurer une production agricole compétitive. D'autre part, la formation des agriculteurs et l'accès au financement jouent un rôle crucial dans l'amélioration de la performance globale du secteur. Dans ce cadre, Munyua, H. W., et al. (2023) soulignent que la disponibilité d'un financement approprié permet aux exploitants d'investir dans des technologies modernes et dans l'amélioration de leurs pratiques de gestion.

3.2 LA DURABILITE ENVIRONNEMENTALE DANS LE SECTEUR AGRICOLE

La durabilité environnementale dans le secteur agricole implique la gestion des ressources naturelles de manière à répondre aux besoins actuels sans compromettre les capacités des générations futures à satisfaire leurs propres besoins. Cela inclut la gestion de l'eau, des sols, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, et la préservation de la biodiversité. Selon Pretty, J. (2017), les pratiques agricoles durables se concentrent sur la gestion de ces ressources de manière optimale pour éviter l'épuisement des sols et la pollution des nappes phréatiques.

L'agriculture de précision représente une réponse innovante aux défis environnementaux. Selon Tiwari, R., et al. (2018), cette technologie permet une gestion optimisée de l'irrigation, des engrais et des produits chimiques, en fonction des besoins spécifiques des cultures et des conditions du sol. Cela réduit les pertes d'eau, minimise l'usage des fertilisants et pesticides, et préserve ainsi l'environnement tout en maintenant des niveaux de production agricoles élevés. En ce qui concerne, l'usage des capteurs en temps réel pour suivre les niveaux d'humidité du sol et la météo permet aux exploitants de prendre des décisions informées sur l'irrigation, la fertilisation et le traitement des cultures, réduisant ainsi l'empreinte écologique de l'agriculture. Pazienza, P., et al. (2020), montrent que cette technologie est particulièrement efficace pour réduire la consommation d'eau et l'utilisation d'intrants chimiques, ce qui en fait un levier essentiel pour la durabilité environnementale des exploitations agricoles.

Malgré les avantages potentiels de la digitalisation pour la durabilité environnementale, plusieurs défis existent pour son adoption dans les zones rurales marocaines. Le manque d'infrastructures adéquates (telles que la connectivité Internet dans les zones reculées), le coût des technologies et le besoin en formation des agriculteurs sont des obstacles majeurs à l'intégration de ces technologies dans les pratiques agricoles quotidiennes Lionboui, H., et al. (2022). En effet, bien que les technologies numériques offrent un potentiel important pour améliorer la gestion durable des ressources agricoles, leur adoption reste limitée par l'infrastructure, la sensibilisation et la capacité des exploitants à investir dans ces technologies.

4 ÉTUDE EMPIRIQUE

Cette étude repose sur les réponses fournies par les agriculteurs interrogés dans la région de Fes-Meknès entre le 01/05/2024 et le 30/09/2024 à l'aide d'un questionnaire administré sur place.

- 45 agriculteurs exploitent des surfaces inférieures à 5 hectares (petites exploitations).
- 45 agriculteurs exploitent des surfaces supérieures à 5 hectares (moyennes et grandes exploitations).

Cela représente un total de 90 agriculteurs interrogés. Les agriculteurs contactés qui n'ont pas souhaité participer ou qui ont fourni des réponses incomplètes n'ont pas été intégrés dans l'analyse des résultats

4.1 CARACTÉRISTIQUES DES AGRICULTEURS INTERROGÉS

Pour bien présenter les caractéristiques des agriculteurs étudiés, il est indispensable de commencer par les classer en fonction de leur âge, niveau d'éducation et type d'exploitation agricole. Il est également essentiel de mettre en lumière leur mode de gestion (familial, coopératif ou commercial), ainsi que leur niveau d'adoption des outils numériques et leur accès aux ressources hydriques. Enfin, une attention particulière est accordée à leurs perceptions vis-à-vis de la digitalisation et de son impact sur la durabilité environnementale.

- Les agriculteurs de notre échantillon se répartissent en trois tranches d'âge: (25%) ont entre 18 et 30 ans, (50%) entre 31 et 50 ans, et (25%) ont plus de 50 ans.
- En termes de niveau d'éducation, (40%) n'ont pas dépassé le niveau primaire, (35%) ont un niveau secondaire, et (25%) disposent d'une formation supérieure ou technique
- Concernant les types d'exploitation, (40%) des agriculteurs pratiquent des cultures céréalières, (30%) sont engagés dans l'arboriculture (oliviers, agrumes, etc.), et (30%) se consacrent à l'élevage.
- Les modes de gestion sont majoritairement familiaux (65%), suivis des coopératives (20%) et des exploitations commerciales structurées (15%).

4.2 ANALYSE DES RÉSULTATS

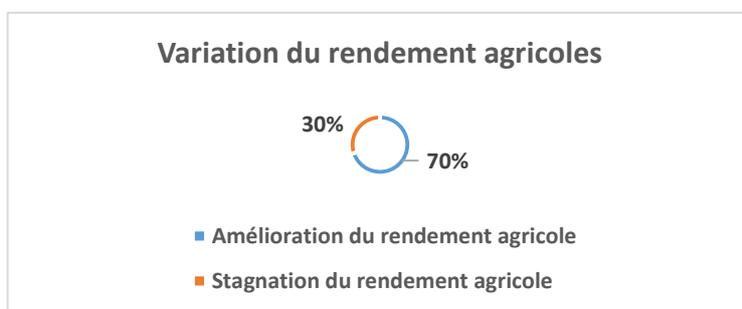
▪ Le Rendement Agricole

La croissance des rendements agricoles représente un indicateur clé pour évaluer l'impact des technologies numériques sur la productivité des exploitations agricoles. L'adoption de technologies innovantes telles que les capteurs intelligents, les

drones et les logiciels de gestion des cultures a permis une amélioration significative des rendements pour de nombreux agriculteurs. En moyenne, les exploitations utilisant ces outils ont observé une augmentation des rendements, mesurée en tonnes par hectare. Environ 70 % des agriculteurs ayant intégré ces technologies dans leurs pratiques ont rapporté des gains notables en termes de rendement. Ces résultats montrent le potentiel des technologies numériques pour transformer la production agricole et accroître l'efficacité.

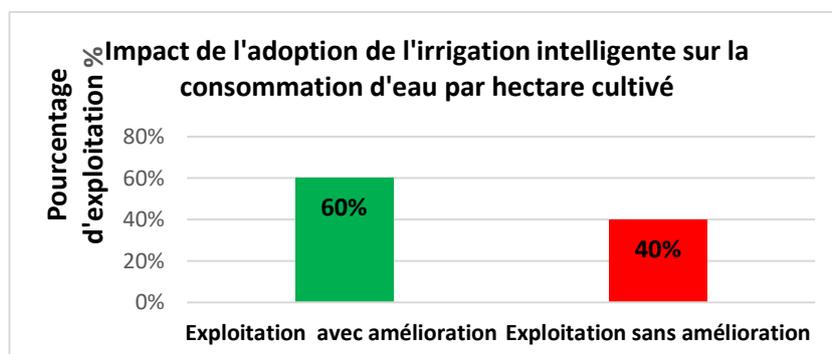
Cependant, il convient de noter que 30 % des agriculteurs n'ont pas constaté d'amélioration significative. Cette disparité peut être attribuée à plusieurs facteurs, dont l'absence d'une adoption adéquate des technologies, des obstacles liés à la formation, ou encore des contraintes spécifiques aux conditions locales. Les exploitations de petite taille sont particulièrement touchées par ces défis. En effet, elles rencontrent des difficultés accrues pour accéder à ces technologies en raison de ressources limitées, d'un manque de formation spécialisée et d'un soutien technique insuffisant. Ces exploitations, souvent caractérisées par un faible niveau de capital et une gestion plus fragile, sont moins à même de tirer pleinement parti des outils numériques.

Il est donc impératif que ces exploitations bénéficient d'un soutien renforcé, tant sur le plan financier que technique. Les institutions agricoles et les organismes publics jouent un rôle crucial dans cette dynamique en facilitant l'accès aux technologies, en proposant des programmes de formation adaptés et en offrant des aides financières. En parallèle, des efforts de sensibilisation à l'importance de la digitalisation doivent être entrepris pour montrer aux petits exploitants les bénéfices tangibles de l'adoption des technologies numériques.



▪ La gestion des ressources naturelles

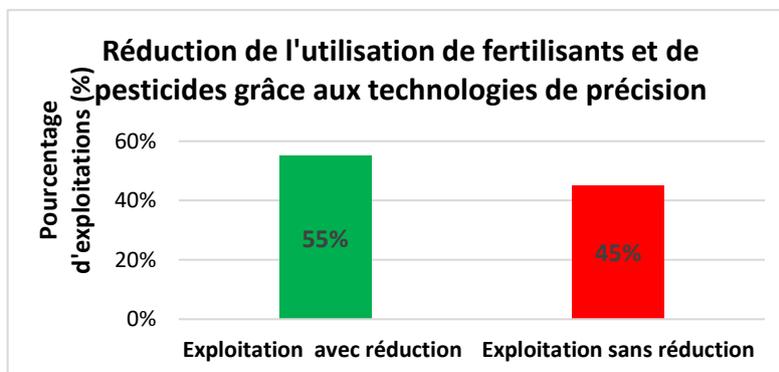
La gestion des ressources naturelles notamment de l'eau, est essentielle pour les exploitations agricoles, en particulier celles qui adoptent des technologies d'agriculture de précision. Environ 60 % des exploitations agricoles ayant intégré des technologies telles que l'irrigation intelligente et l'utilisation de capteurs pour la gestion des ressources en eau ont observé une réduction significative de leur consommation d'eau par hectare cultivé. Toutefois, 40 % des exploitations n'ont pas constaté d'amélioration notable. Ce sont principalement les petites exploitations qui rencontrent des difficultés d'adoption, en raison de l'accès limité aux technologies et du manque de formation spécialisée. Il est donc crucial que ces exploitations bénéficient d'un soutien technique et financier renforcé, ainsi que d'une meilleure sensibilisation aux avantages de l'agriculture de précision pour améliorer leur efficacité en matière de gestion des ressources en eau et, par conséquent, réduire leur empreinte écologique.



▪ L'utilisation de fertilisants et de pesticides

L'utilisation de fertilisants et de pesticides est un aspect important de la durabilité environnementale des exploitations agricoles. Les technologies d'agriculture de précision, telles que l'irrigation intelligente et les capteurs pour la gestion des ressources en eau, peuvent influencer directement la quantité de fertilisants et de pesticides utilisés. En optimisant l'irrigation

et en fournissant des données précises sur les besoins des cultures, ces technologies permettent aux exploitations de réduire l'utilisation excessive d'intrants chimiques en appliquant les fertilisants et pesticides de manière plus ciblée et efficace. Environ 55 % des exploitations ayant adopté ces technologies ont observé une réduction notable de l'utilisation de fertilisants et de pesticides par hectare cultivé. Cependant, 45 % des exploitations n'ont pas observé de changement significatif, souvent en raison de l'accès limité aux technologies ou d'un manque de formation. Il est donc essentiel que ces exploitations bénéficient de soutiens techniques et financiers renforcés, ainsi que d'une meilleure sensibilisation aux avantages de l'agriculture de précision, afin d'optimiser l'utilisation des fertilisants et des pesticides et de réduire leur empreinte écologique.



4.3 LIEN ENTRE LA FORMATION DES AGRICULTEURS ET LA PART DE MARCHÉ

La formation des agriculteurs à l'utilisation des technologies numériques représente un levier clé pour améliorer leur part de marché. À mesure que le secteur agricole se numérise, la maîtrise des outils numériques permet aux exploitants de mieux gérer leurs ressources, de réduire les coûts de production, d'optimiser l'utilisation de l'eau et des intrants, et de maximiser l'efficacité de leurs opérations.

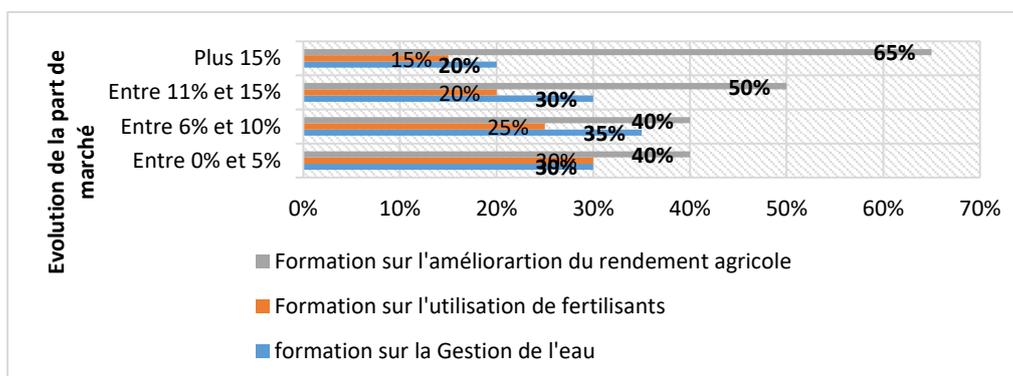


Fig. 2. Variation de la part de Marché en fonction des formations agricoles

Les résultats présentés montrent une variation des priorités de formation selon la part de marché des exploitants agricoles. Trois types de formations ont été étudiés: la gestion de l'eau, l'utilisation de fertilisants et l'amélioration du rendement agricole. L'analyse des pourcentages met en lumière une tendance croissante à privilégier les formations sur l'amélioration des rendements agricoles chez les exploitants ayant une part de marché plus élevée.

Les exploitants agricoles ayant une part de marché entre 0% et 5% adoptent une approche équilibrée dans leurs choix de formation, avec 30% d'entre eux s'orientant vers la gestion de l'eau et l'utilisation de fertilisants, tandis que 40% privilégient la formation sur l'amélioration du rendement agricole. Cette légère priorité accordée à l'amélioration des rendements traduit leur volonté de compenser leur position limitée sur le marché.

Pour les exploitants agricoles ayant une part de marché entre 6% et 10%, la gestion de l'eau devient une priorité avec 35%, traduisant une attention accrue à l'efficacité hydrique face aux contraintes climatiques et économiques. La formation sur l'utilisation de fertilisants diminue à 25%, tandis que la formation sur l'amélioration du rendement agricole reste stable à 40%, confirmant son rôle central dans leur stratégie de compétitivité. L'optimisation des ressources hydriques apparaît ainsi comme un levier essentiel pour améliorer les performances tout en maîtrisant les coûts.

Pour les exploitants agricoles ayant une part de marché entre 11% et 15%, la formation sur l'amélioration du rendement agricole atteint 50%, en faisant une priorité claire pour cette catégorie. En parallèle, les formations sur la gestion de l'eau et l'utilisation de fertilisants diminuent respectivement à 30% et 20%, marquant un recentrage stratégique sur la productivité. Cette orientation traduit la volonté de ces exploitants de consolider leur position concurrentielle en maximisant les rendements agricoles, un facteur clé pour maintenir leur croissance. Bien que les enjeux liés à l'eau et aux fertilisants restent présents, ils deviennent secondaires face à la nécessité d'augmenter la production.

Enfin, pour les exploitants agricoles ayant une part de marché supérieure à 15%, la formation sur l'amélioration du rendement agricole domine largement avec 65%, tandis que les formations sur la gestion de l'eau et l'utilisation de fertilisants chutent respectivement à 20% et 15%. Ce choix stratégique témoigne d'une volonté d'augmenter la production.

5 CONCLUSION

La formation des agriculteurs à l'utilisation des technologies numériques ne se limite pas uniquement à l'amélioration des rendements, elle a également un impact significatif sur la gestion des ressources naturelles, notamment l'eau, ainsi que sur l'utilisation des intrants tels que les fertilisants et les pesticides. L'adoption de l'irrigation intelligente et de logiciels de gestion des cultures permet de réguler l'irrigation en fonction de la quantité d'eau présente dans le sol et des prévisions météorologiques, évitant ainsi le gaspillage d'eau. En formant les agriculteurs à l'utilisation de ces outils, ils peuvent ajuster les cycles d'irrigation pour les rendre plus adaptés à chaque culture et à chaque phase de croissance. De plus, les logiciels de gestion des cultures fournissent des données précises qui permettent une application ciblée des fertilisants et des pesticides, réduisant ainsi leur utilisation par hectare.

Cependant, l'accès à la formation reste une barrière importante, surtout pour les petites exploitations. L'absence de ressources financières et la difficulté d'accès aux formations spécialisées freinent l'adoption des technologies numériques. Pour répondre à ces défis, il est essentiel que les politiques publiques et les initiatives privées se concentrent sur l'élargissement de l'accès à des programmes de formation adaptés, en particulier pour les petites exploitations rurales. Des partenariats avec des institutions éducatives, des associations agricoles et des entreprises de technologie peuvent également faciliter la diffusion de la formation aux technologies numériques, contribuant ainsi à l'amélioration de la productivité agricole et à la compétitivité des exploitations agricoles.

Cette étude présente plusieurs limites. Premièrement, l'évaluation de l'impact des formations sur l'adoption des technologies numériques repose sur la disponibilité des données recueillies spécifiquement dans la région Fès-Meknès, ce qui peut limiter la généralisation des résultats à d'autres zones. Deuxièmement, les effets à long terme de ces formations sur la durabilité des exploitations agricoles n'ont pas pu être mesurés dans cette étude, nécessitant des recherches supplémentaires pour évaluer leur impact à plus long terme.

REFERENCES

- [1] R. Bongiovanni and J. Lowenberg-Deboer, «Precision agriculture and sustainability,» *Precision Agriculture*, vol. 5, no. 4, pp. 389–406, 2004.
- [2] D. Gollin, «Agricultural productivity differences across countries,» *American Economic Review*, vol. 104, no. 5, pp. 165–170, 2014.
- [3] B. Jabir and F. Nouredine, «Digital agriculture in Morocco, opportunities and challenges,» *EFITA 2019 Proceedings*, 2020.
- [4] K. G. Liakos, et al., «Machine learning in agriculture: A review,» *Biosystems Engineering*, vol. 164, pp. 105–120, 2018.
- [5] K. G. Liakos, et al., «Machine learning in agriculture: A review,» *Sensors*, vol. 18, no. 8, pp. 2674, 2018.
- [6] H. Lionboui, et al., «Digitalization and agricultural development: Evidence from Morocco,» *Food Security and Climate-Smart Food Systems*, pp. 321–338, 2022.
- [7] W. Liu, et al., «Big data applications in agriculture: Current status and future perspectives,» *Agricultural Systems*, vol. 182, pp. 102839, 2020.
- [8] Y. Liu, et al., «Smart agriculture: Applications of drones and IoT technologies in agriculture,» *Agricultural Systems*, vol. 163, pp. 1–9, 2018.
- [9] H. W. Munyua, et al., «Digital technologies adoption and economic benefits in agriculture,» *Sustainability*, vol. 16, no. 11, pp. 4431, 2023.
- [10] P. Paziienza, et al., «Agricultural precision technologies and sustainable development,» in *Sustainable Agriculture Reviews*, Springer, pp. 159–186, 2020.
- [11] J. Pretty, «The sustainable intensification of agriculture: An overview,» *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 225, pp. 1–14, 2017.

- [12] A. Raihan, et al., «A systematic review of geographic information systems (GIS) in agriculture for evidence-based decision making and sustainability,» *Global Sustainability Research*, vol. 3, no. 1, pp. 1–24, 2023.
- [13] R. Tiwari, M. K. Tiwari, and P. Soni, «Impact of big data analytics in agriculture: A review,» *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 9, no. 3, pp. 1–6, 2018.
- [14] S. Wolfert, et al., «Big data in smart farming – A review,» *Agricultural Systems*, vol. 153, pp. 69–80, 2017.
- [15] C. Zhang, et al., «Application of drone-based technologies for precision agriculture: A review,» *Field Crops Research*, vol. 248, pp. 107–119, 2020.
- [16] H. Zhang, et al., «Internet of Things (IoT) applications in agriculture: A survey,» *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 156, pp. 30–39, 2019.