

LA RECHERCHE AGRONOMIQUE AU SENEGAL : ANALYSE CRITIQUE DES PRATIQUES.

Abstract:

This study on the application of statistical methods in agronomic research in Senegal highlights several key issues related to the methodological quality of scientific studies. The findings show that the Randomized Complete Block Design (52.54%) is the most frequently used experimental design, while ANOVA (43.31%) is the most commonly applied analytical method, followed by descriptive statistics. In addition, random sampling appears to be the predominant sampling technique used (75%) in the reviewed studies. However, the analysis also reveals significant methodological shortcomings. In many studies, the choice of experimental designs, sampling techniques, and data analysis methods is not clearly justified, which may undermine the validity, reproducibility, and reliability of the findings. Furthermore, most studies do not specify the formula used to determine sample size, which may reduce statistical precision and increase the risk of sampling errors. The study also points to the limited use of crop models in agricultural research, despite their importance as tools for simulation, yield prediction, and the assessment of the impacts of agricultural practices and climate variability. Therefore, strengthening methodological rigor, improving the transparency of statistical choices, and promoting the integration of crop models are essential to enhance the scientific quality and robustness of agronomic research in Senegal.

Key words:-

Statistical methods, data analysis, Agriculture, research, Eco-geographical zones, Senegal.

Introduction:-

L'agriculture occupe une place centrale dans la croissance économique du Sénégal et constitue une source essentielle de revenus pour les populations, en particulier celles du monde rural (Ndiaye, 2018). Elle représente l'activité principale de nombreux ménages sénégalais (Bourgoin et al., 2020) et contribue de manière significative à la dynamique économique nationale (Ramde & Lo, 2015). En 2023, le secteur agricole a enregistré une croissance de 7,6 % et a contribué à hauteur de 15 % du Produit Intérieur Brut (PIB) national (ANSD, 2024).

A cet égard, la recherche joue un rôle fondamental dans le développement du secteur agricole, qui demeure un pilier essentiel de l'économie nationale. Bien que les activités agricoles soient largement réparties sur l'ensemble du territoire, certaines zones présentent une importance stratégique particulière. Dès lors, l'amélioration des performances agricoles passe nécessairement par l'adoption d'outils et de méthodes scientifiques visant à accroître l'efficacité et la durabilité des pratiques (Banerjee et al., 2023).

Parmi ces outils, les méthodes statistiques occupent une place déterminante. Depuis plusieurs décennies, elles sont fortement mobilisées dans l'interprétation et l'analyse des données empiriques issues des enquêtes agronomiques (Schabenberger & Pierce, 2002). Dans le secteur agricole sénégalais, leur importance est indéniable. Elles contribuent à la prise de décision, permettent de prédire les résultats et facilitent une analyse approfondie des phénomènes agricoles (Argaw et al., 2025). Les méthodes statistiques les plus utilisées dans les expérimentations agricoles sont généralement simples, fiables et largement diffusées (Carvalho et al., 2022).

Cependant, l'utilisation des méthodes statistiques en agronomie n'est pas exempte de limites. Les données agricoles présentent souvent une forte hétérogénéité, liée aux conditions environnementales ou à la diversité des protocoles expérimentaux (Makowski et al., 2019). De plus, l'application correcte des méthodes statistiques demeure un enjeu majeur dans la recherche sur les plantes et les cultures (Raudonius, 2017). La littérature scientifique met en évidence plusieurs insuffisances dans la qualité des analyses statistiques. Par exemple, une proportion importante des articles publiés dans les domaines biologiques et agricoles indique une utilisation ou une interprétation incorrecte des méthodes statistiques (Johnson & Berger, 1982). D'autres études confirment que ces méthodes sont fréquemment mal utilisées ou mal interprétées par les auteurs (Raudonius, 2017 ; Kramer et al., 2016). De manière générale, les chercheurs n'accordent pas toujours une attention suffisante à l'application rigoureuse des méthodes statistiques à

52 toutes les étapes de la recherche, ce qui peut engendrer divers biais liés notamment à l'échantillonnage, à la collecte,
53 au traitement et à l'analyse des données. Dans ce contexte, la présente étude vise à analyser les principales méthodes
54 statistiques appliquées en agronomie dans le contexte sénégalais, afin d'identifier les insuffisances dans l'analyse
55 des données agricoles et de proposer des outils appropriés permettant d'améliorer et d'approfondir ces analyses.

56 **Matériel et méthodes:-**

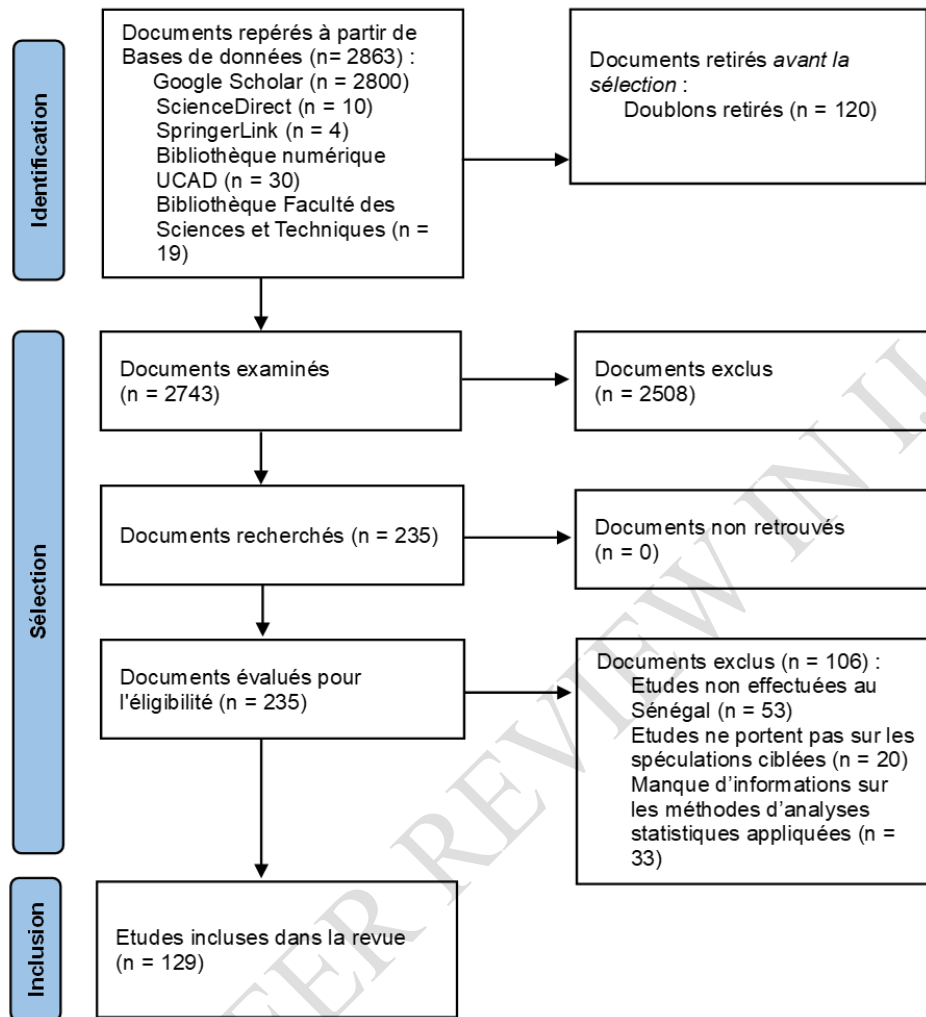
57 **Collecte de données:-** La collecte des données a été faite par une revue bibliographique systématique suivant le
58 diagramme de flux de PRISMA sur l'agriculture au Sénégal. La recherche de documents a été faite à partir de la
59 base de données Google Scholar, ScienceDirect, SpringerLink, bibliothèque Universitaire et celle de la Faculté des
60 Sciences et Techniques de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Les Thèses, mémoires, articles, livres et
61 rapports portant sur l'agriculture au Sénégal sont sélectionnés. La recherche a été accès principalement sur les
62 cultures de rente, vivrières et maraichères. Les mots clés et leurs combinaisons utilisés sont : enquête,
63 expérimentation, rendement de production, fertilisation, pratiques culturales, échantillonnage, collecte de données,
64 analyse statistique, modèle statistique. Les données ont été rassemblées en tenant compte des documents publiés
65 entre 1988 et 2023 (36 ans), période suffisante pour effectuer une analyse approfondie et statistiquement
66 significative.

67 Le processus de sélection des documents repose sur un certain nombre de critères d'inclusion :

- 68 a) les études portaient sur une enquête et/ou expérimentation agricole, le rendement de production agricole,
69 la fertilisation et les pratiques culturales, l'échantillonnage et la collecte de données agricoles, l'analyse
70 statistique des données agricoles et l'utilisation de modèles statistiques ;
- 71 b) elles portaient sur les cultures de rente, vivrières et maraichères ;
- 72 c) les études ont été publiées entre 1988 et 2023.

73 **Nombre de documents retenus dans l'étude :-** Le processus de revue systématique se déroule en trois grandes
74 étapes. Le diagramme de flux de la méthodologie avec toutes les étapes de la sélection des documents est basé sur
75 les lignes directrices PRISMA (Page et al., 2021). Lors de la phase d'identification, un total de 2 863 documents a
76 été repéré à partir de plusieurs sources, principalement Google Scholar (2 800 documents), ScienceDirect (n = 10),
77 SpringerLink (n = 4), la bibliothèque numérique de l'UCAD (n = 30) et la bibliothèque de la Faculté des Sciences et
78 Techniques (n = 19). Après suppression des doublons (n = 120), 2 743 documents ont été examinés sur la base de
79 leurs titres et résumés, conduisant à l'exclusion de 2 508 documents jugés non pertinents. La phase de sélection a
80 permis d'évaluer l'éligibilité de 235 documents en texte intégral. Parmi ceux-ci, 106 ont été exclus pour les raisons
81 suivantes : études non réalisées au Sénégal (n = 53), absence de lien avec les spéculations ciblées (n = 20) et manque
82 d'informations concernant les méthodes d'analyses statistiques utilisées (n = 33). A l'issue de ce processus, 129
83 études remplissant l'ensemble des critères d'inclusion ont été retenues pour l'analyse quantitative (Figure 1).

84 L'étude couvre toutes les zones éco-géographiques du Sénégal avec une prédominance du Bassin arachidier qui
85 couvre plus du tiers des documents retenus.



86

87 **Figure 1**:-Diagramme de flux, PRISMA 2020.

88 **Méthodes d'analyse statistique**:-Les données ont été analysées avec le logiciel *R version 4.2.0*. Les analyses
 89 descriptives ont été faites à l'aide de graphes réalisés dans le package *ggplot2*. Pour évaluer les méthodes
 90 d'échantillonnage appliquées, l'ampleur de l'erreur d'échantillonnage est estimée. La méthode Bootstrap a été
 91 utilisée pour estimer l'erreur d'échantillonnage et les intervalles de confiance. Le Bootstrap proposé par Efron
 92 (1979) est une méthode de rééchantillonnage qui permet d'estimer l'erreur d'échantillonnage en répétant de
 93 nombreux échantillonnages avec remplacement à partir de l'échantillon original. Dans cette étude, 42 documents de
 94 recherches sont basés sur des enquêtes, parmi lesquels 18 ont été exploités en raison de leur complétude dans le
 95 calcul des erreurs d'échantillonnage. En effet, c'étaient les seuls à fournir soit la taille de l'échantillon seule ou soit
 96 la taille de l'échantillon et celle de la population. La plupart des documents d'enquêtes consultés ont été effectués
 97 au niveau des ménages agricoles. De plus, au niveau national, la taille moyenne des ménages agricoles est de 9,5
 98 personnes avec un écart-type d'environ 2,43 (DAPSA, 2020). Ainsi, dans cette étude, la moyenne et l'écart-type de
 99 l'échantillon considérés sont : $\mu=9,5$ et $\sigma=2,43$.

100 Dans le logiciel *R*, le package *boot* a permis de faire la simulation avec un nombre de réplication égale à $B=1000$.
 101 Les échantillons ont été générés suivant la distribution normale en supposant que la distribution d'échantillonnage
 102 de la moyenne et de la variance suivent une distribution approximativement normale (Palm, 2002).

103 **Estimation de l'erreur type Bootstrap**:- L'erreur type Bootstrap est l'écart type des valeurs Bootstrap de la moyenne
 104 de l'échantillon donné par la formule suivante (Eq. 1) :

$$\text{SE Bootstrap} = \sqrt{\frac{1}{B-1} \sum_{i=1}^B (\hat{\theta}_i - \bar{\theta})^2}, \quad (1)$$

105

106

107 où $\hat{\theta}_i$ est la moyenne calculée pour le i ème échantillon Bootstrap et $\bar{\theta}$ est la moyenne des $\hat{\theta}_i$ et B est le nombre
 108 d'échantillons Bootstrap. Plus l'erreur type de la moyenne est élevée et moins l'estimation de la moyenne de la
 109 population est précise.

110 **Estimation de l'Intervalle de Confiance Bootstrap (IC Bootstrap) :-** Dans la méthode de l'intervalle de confiance
 111 percentile simple, les limites de confiance sont données par les centiles $\alpha/2$ et $1 - \alpha/2$ de la distribution
 112 d'échantillonnage empirique (Palm, 2002). Nous prendrons les centiles 2,5 % et 97,5 % des valeurs Bootstrap qui
 113 correspondent approximativement à l'observation de rang 25 et à l'observation de rang 975. L'intervalle de
 114 confiance au niveau $1 - \alpha$ est alors (Eq. 2) :

$$IC_{(1-\alpha)} = \left[\hat{\theta}_{(B, \frac{\alpha}{2})}, \hat{\theta}_{(B, 1-\frac{\alpha}{2})} \right], \quad (2)$$

115

116

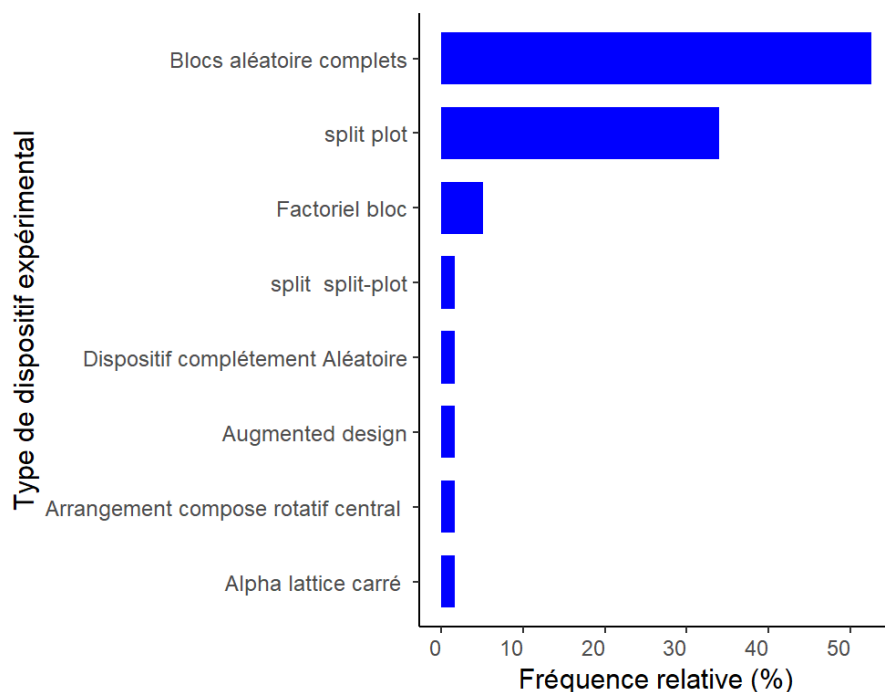
117 où α est le seuil de significativité (0,05 pour un IC à 95 %), et $\hat{\theta}$ est la moyenne bootstrap triée en i ème position.

118

119 **Résultats:-**

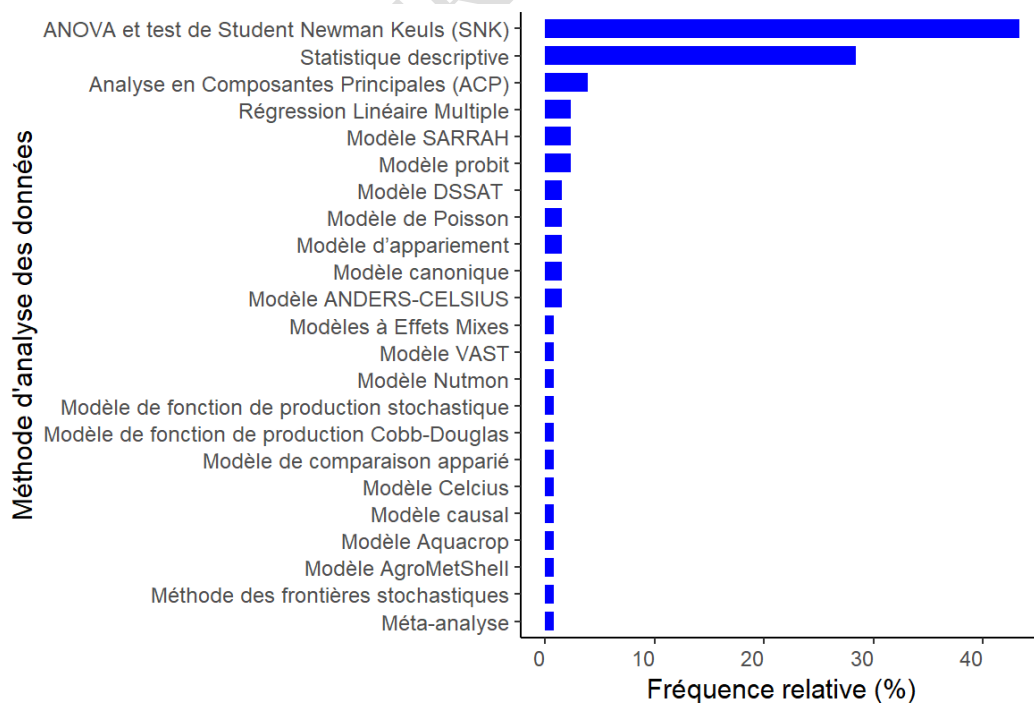
120 **Différentes méthodes statistiques utilisées dans la recherche agricole au Sénégal**

121 **Principaux dispositifs expérimentaux :-** Les différents types de dispositifs expérimentaux utilisés lors des études au
 122 Sénégal sont présentés dans la figure 2. Le dispositif en Bloc Aléatoire complet (dispositif de Fisher) représente
 123 52,54 % des études expérimentales et il est le plus couramment utilisé. Le dispositif en Split-plot est le deuxième
 124 dispositif le plus utilisé, avec 33,90 % des études. Le troisième dispositif le plus utilisé est le Factoriel bloc avec
 125 5,08 % des études. Les autres types de dispositifs tels que le Split-split-plot, le Dispositif Complètement Aléatoire,
 126 Augmented design, Arrangement compose rotatif central et Alpha lattice carré représentent également 1,69 % des
 127 études.



128 **Figure 2:**-Type de dispositifs expérimentaux utilisés dans la recherche agricole au Sénégal.

129 **Principales méthodes d'analyse de données:**-La figure 3 montre les différentes méthodes d'analyse de données
 130 utilisées lors des études au Sénégal. L'ANOVA est la méthode la plus couramment utilisée. Elle représente 43,31 %
 131 des méthodes d'analyse de données. La statistique descriptive représente 30 % des études et constitue la deuxième
 132 méthode la plus utilisée. L'Analyse en Composantes Principales est utilisée dans 3,94 % des analyses, ce qui montre
 133 une application modérée. Les autres méthodes d'analyse sont faiblement représentées avec moins de 3 % chacun.



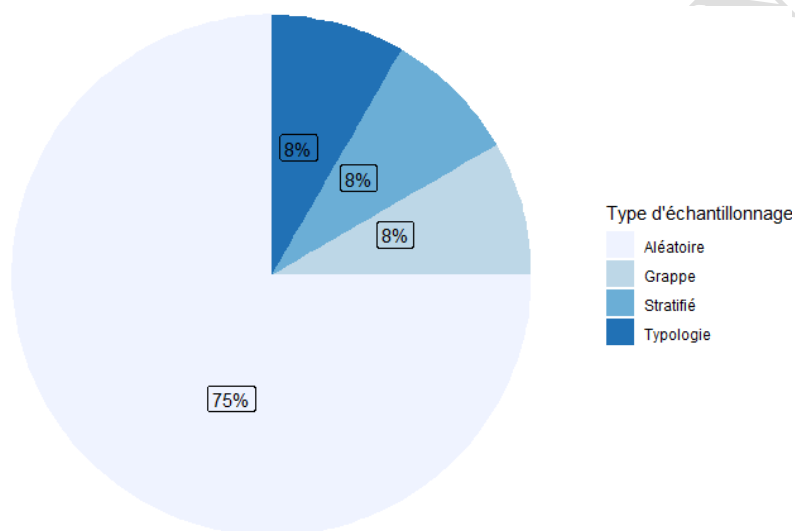
134 **Figure 3:**-Principales méthodes d'analyse de données agronomiques utilisées au Sénégal.

135 **Test d'indépendance de Chi-carré entre type de dispositif et méthode d'analyse :-**Le test de Chi-carré (χ^2) montre
 136 qu'il n'y a pas de lien significatif entre les types de dispositifs expérimentaux et les méthodes d'analyse de données
 137 utilisées au Sénégal, ce qui indique une indépendance dans les choix méthodologiques. La p-value de 0,9784 est très
 138 élevée, bien au-dessus du seuil de signification de 0,05. En d'autres termes, le choix du type de dispositif
 139 expérimental n'influence pas le choix de la méthode d'analyse de données (Tableau 1).

140 **Tableau 1:-**Résultats du test de KHI2.

χ^2	ddl	P
42,42	63	0,9784

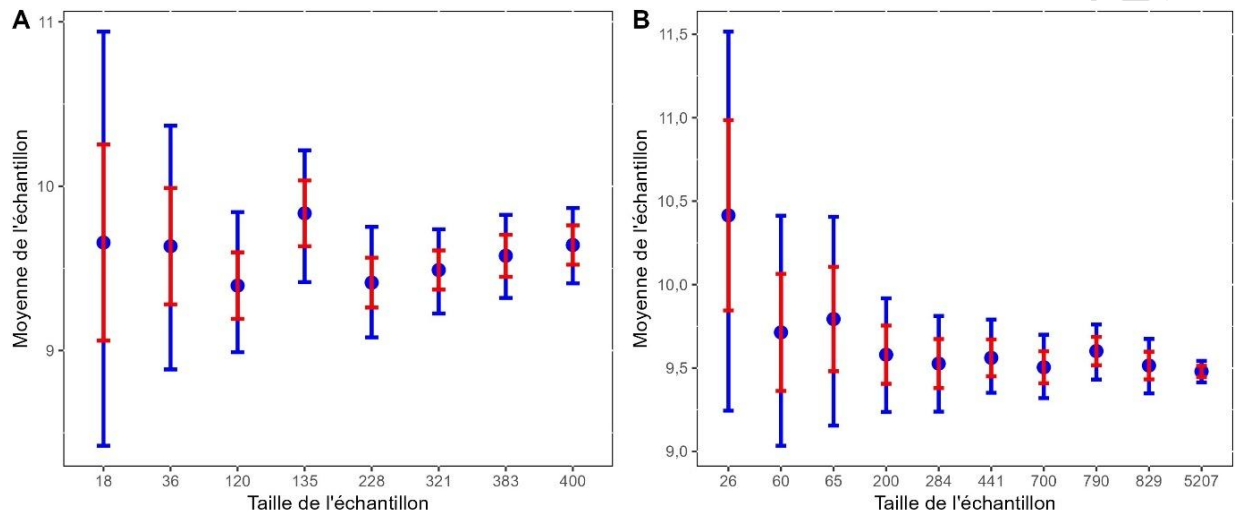
141
 142 **Principales méthodes d'échantillonnage:-**La Figure 4 révèle que clairement que l'échantillonnage aléatoire domine
 143 largement les méthodes d'échantillonnage utilisées lors des études au Sénégal, avec 75 % des études utilisant cette
 144 méthode. Cependant, la présence de l'échantillonnage stratifié, en grappe et typologique, chacun représentant 8 %
 145 des études, souligne la reconnaissance de la diversité et de la complexité des populations étudiées.



146
 147 **Figure 4:-**Méthodes d'échantillonnage appliquées.

148
 149

150 **Erreur type et intervalle de confiance des échantillons**:-L'erreur type et l'intervalle de confiance ont été estimés
 151 pour évaluer la précision des estimations d'échantillon et comprendre l'incertitude associée à ces estimations. Les
 152 résultats présentés dans la figure 5 montrent comment les moyennes et les intervalles de confiance varient en
 153 fonction de la taille des échantillons. Les points bleus représentent les moyennes des échantillons de tailles
 154 différentes. En examinant les intervalles de confiance (barres bleues) et les erreurs types (barres rouges), il a été
 155 constaté que plus la taille de l'échantillon est petite plus l'erreur type et l'intervalle de confiance sont grands. Cela
 156 montre que les études qui ont eu à utiliser des tailles d'échantillon petites présentent une grande variabilité dans les
 157 estimations avec de faibles précisions. Toutefois, plus la taille de l'échantillon est grande, plus l'erreur type et
 158 l'intervalle de confiance sont étroits, indiquant que les études avec des tailles d'échantillon grand ont des estimations
 159 précises et fiables. Autrement dit, l'estimation de l'échantillon est précise et proche de la valeur réelle de la
 160 population.



161 **Figure 5**:-Erreurs types et intervalles de confiance pour différentes tailles d'échantillon. **A** : Calcul de l'erreur type
 162 (SE) Bootstrap avec correction pour population finie : L'erreur type est ajustée en fonction de la taille de la
 163 population (N), **B** : Calcul de l'erreur type (SE) Bootstrap en se basant sur l'échantillon : l'erreur type est ajustée en
 164 fonction de la taille de l'échantillon (n).
 165

166 Discussion :-

167 Au Sénégal, les approches méthodologiques mobilisées pour l'analyse des données agricoles apparaissent à la fois
 168 diversifiées et inégalement maîtrisées. Les résultats de cette étude mettent en exergue l'utilisation d'une dizaine
 169 dispositifs expérimentaux, parmi lesquels le dispositif en Bloc Aléatoire Complet domine largement, représentant
 170 plus de la moitié des publications examinées. Ce dispositif est particulièrement apprécié pour sa robustesse et sa
 171 capacité à contrôler la variabilité expérimentale, particulièrement en présence de gradients d'hétérogénéité sur le
 172 terrain (Montgomery, 2017 ; Gomez & Gomez, 1984). Toutefois, son efficacité dépend d'un contrôle rigoureux des
 173 facteurs de variation, ce qui en limite parfois l'applicabilité dans des conditions de terrain moins contrôlées. Il est
 174 suivi par le dispositif Split-plot qui constitue une alternative fréquente lorsque certains facteurs sont difficilement
 175 manipulables à petite échelle. Il est méthodologiquement plus complexe, en raison des erreurs expérimentales
 176 multiples à considérer (Otava & Mylona, 2025). Malgré cette diversité apparente, un constat majeur réside dans
 177 l'insuffisance de la justification du choix des dispositifs expérimentaux dans la quasi-totalité des
 178 publications analysées. Cette lacune compromet la reproductibilité des essais et traduit un déficit dans la planification
 179 expérimentale (Banerjee et al., 2023). Cela souligne un besoin d'approfondissement méthodologique dans les études
 180 agronomiques, en particulier dans la planification expérimentale.

181 Sur le plan de l'analyse statistique des données, l'analyse de la variance (ANOVA) s'impose comme l'outil
 182 dominant, suivie par les statistiques descriptives. La prédominance de l'ANOVA reflète une approche
 183 méthodologique axée sur la comparaison des effets de différents traitements, ce qui constitue un élément central
 184 dans la conduite des essais expérimentaux contrôlés (Steel & Torrie, 1981). Néanmoins, l'application de l'ANOVA
 185 repose sur des hypothèses fondamentales telles que la normalité des résidus, l'homoscédasticité et l'indépendance
 186 des observations dont la vérification est rarement documentée dans les études. Or, l'absence de validation de ces
 187 hypothèses fragilise la robustesse des conclusions statistiques (Emerson, 2022 ; Ghasemi & Zahediasl, 2012). Par

188 ailleurs, lorsque ces conditions ne sont pas remplies, les alternatives méthodologiques telles que les transformations
189 de données, les tests non paramétriques ou les modèles mixtes sont recommandés (Box & Cox, 1964). En
190 complément, les statistiques descriptives sont largement utilisées pour explorer les tendances générales des données.
191 Cependant, dans de nombreuses publications, l'analyse s'arrête à ce stade exploratoire, ce qui réduit la portée
192 interprétative des résultats (Greenland et al., 2019).
193 Un autre point critique concerne l'utilisation encore marginale des modèles de culture, pourtant essentiels pour
194 simuler l'impact de pratiques agricoles ou de conditions climatiques sur la production. Des travaux récents tels que
195 ceux d'Ansarifar et al. (2021) et Torquebiau (2015) ont montré que ces modèles sont des outils clés pour améliorer
196 la production agricole et garantir la sécurité alimentaire mondiale. Toutefois, leur faible utilisation dans les études
197 peut être liée à des compétences limitées en modélisation chez les chercheurs ou des contraintes techniques d'accès
198 à ces outils.
199 De plus, la non dépendance apparente entre les dispositifs expérimentaux et les méthodes d'analyse dans les
200 publications suggère une flexibilité méthodologique. Néanmoins, cela nécessite une grande vigilance dans la
201 cohérence entre dispositif expérimental et traitement statistique, afin d'assurer la validité des inférences statistiques
202 (Gomez & Gomez, 1984).
203 Les pratiques d'échantillonnage posent elles aussi des défis. L'échantillonnage aléatoire simple domine les enquêtes
204 au Sénégal en raison de sa simplicité et de sa capacité à minimiser le biais de sélection (Ardilly, 2013), mais il est
205 souvent insuffisamment justifié. De plus, la taille des échantillons s'avère généralement insuffisante, comme en
206 témoignent les erreurs types élevées estimées par des méthodes de rééchantillonnage telles que le Bootstrap dans une
207 proportion importante des études. Cette situation traduit une grande variabilité et une précision limitée des résultats
208 (Efron & Hastie, 2021). L'adoption de plans d'échantillonnage plus élaborés, tels que l'échantillonnage stratifié,
209 apparaît ainsi nécessaire pour améliorer la représentativité et la fiabilité des résultats (Bacher, 1963 ; Lohr, 2021).
210 Enfin, à l'échelle nationale, des innovations importantes sont récemment introduites montrant un tournant dans la
211 recherche agricole au Sénégal. L'agriculture de précision et les outils numériques (capteurs IoT, drones, IA etc.)
212 gagnent davantage en importance dans les publications. Ces innovations offrent des perspectives importantes pour
213 améliorer la qualité des données et affiner les analyses, tout en intégrant des dimensions environnementales et socio-
214 économiques (Zagre et al., 2024 ; Belmin, 2020 ; Aymeric et al., 2020).
215 Au regard de l'ensemble de ces constats, plusieurs améliorations méthodologiques peuvent être proposées afin de
216 renforcer l'analyse des données agricoles au Sénégal. Il apparaît essentiel de systématiser la justification des choix
217 expérimentaux et d'améliorer la rigueur dans la planification des expériences. La vérification des hypothèses
218 statistiques doit devenir une étape incontournable de toute analyse, accompagnée, le cas échéant, du recours à des
219 méthodes alternatives adaptées telles que les modèles mixtes ou les approches non paramétriques. Par ailleurs, la
220 diversification des outils analytiques, en particulier à travers l'intégration de la modélisation agronomique, constitue
221 un levier majeur d'amélioration. Le renforcement des capacités des chercheurs en statistique appliquée et en
222 modélisation, ainsi que l'accès à des logiciels spécialisés (tels que R, SAS, Python, etc.), sont également
223 indispensables. Enfin, une attention particulière doit être accordée à l'optimisation des plans d'échantillonnage, en
224 privilégiant des approches plus robustes et adaptées aux réalités du terrain.
225

226 **Conclusion :-**

227 Cette étude a permis de mettre en évidence les principales approches statistiques mobilisées en agronomie au
228 Sénégal, tout en soulignant les limites méthodologiques qui en affectent la portée analytique et la robustesse des
229 résultats. L'analyse révèle une prédominance des dispositifs expérimentaux classiques, en particulier le Bloc
230 Aléatoire Complet, ainsi qu'un recours massif à l'ANOVA et aux statistiques descriptives. Si ces outils constituent
231 des fondements solides de l'expérimentation agronomique, leur utilisation apparaît souvent insuffisamment justifiée
232 et accompagnée d'une faible vérification des hypothèses statistiques, ce qui compromet la validité des inférences
233 produites, conduisant à des conclusions biaisées ou non représentatives.
234 Par ailleurs, l'étude met en lumière une sous-exploitation des approches analytiques avancées, telles que les modèles
235 de cultures, modèles mixtes, et les méthodes non paramétriques, pourtant essentiels pour prendre en compte la
236 complexité des systèmes agricoles et la variabilité des conditions de production. Les insuffisances observées dans
237 les pratiques d'échantillonnage en termes de la formule employée pour déterminer la taille de l'échantillon et de
238 justification du choix des techniques d'échantillonnage utilisé, contribuent également à limiter la représentativité et
239 la précision des résultats.
240 Face à ces constats, plusieurs leviers d'amélioration apparaissent nécessaires pour renforcer la qualité des analyses
241 statistiques en agronomie au Sénégal. Il s'agit particulièrement de promouvoir une planification expérimentale plus
242 rigoureuse, de systématiser la vérification des hypothèses statistiques, et d'encourager la diversification des
243 méthodes d'analyse en intégrant des outils plus adaptés aux données complexes. Le renforcement des capacités des

244 chercheurs en statistique appliquée et en modélisation, ainsi que l'accès à des outils analytiques modernes,
245 constituent également des conditions indispensables à cette évolution. Il est aussi essentiel que les chercheurs
246 présentent lors de leurs études des raisons claires et précises pour le choix des dispositifs expérimentaux, des
247 techniques d'échantillonnage et des méthodes d'analyse de données pour une meilleure amélioration de la clarté, de
248 la reproductibilité et de la fiabilité des recherches. Les formules et les raisonnements employés pour évaluer la taille
249 de l'échantillon doivent être clairement précisés dans les productions scientifiques afin d'obtenir une meilleure
250 précision sur la taille des échantillons, de diminuer les erreurs d'échantillonnage et d'augmenter la puissance
251 statistique.

252 Enfin, dans un contexte marqué par des mutations rapides du secteur agricole et l'émergence de nouvelles
253 technologies, l'intégration d'approches innovantes, telles que la modélisation et l'agriculture de précision, offre des
254 perspectives prometteuses pour améliorer la prise de décision et renforcer la résilience des systèmes agricoles. Ainsi,
255 une évolution des pratiques méthodologiques, combinée à une meilleure articulation entre recherche, formation et
256 politiques publiques, apparaît essentielle pour produire des connaissances plus robustes et soutenir efficacement le
257 développement agricole durable au Sénégal.

258

259 **Conflits d'intérêts :-**

260 Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

261

262 **Contributions des auteurs :-**

263 NKGS, AN, et PN ont participé à l'exploitation des données et à la rédaction du manuscrit. NKGS a effectué
264 traitement et l'analyse statistique des données. KN a supervisé les travaux.

265

266 **Références bibliographiques :-**

- 267 1. Ansarifar, J., Wang, L., & Archontoulis, S. V. (2021). An interaction regression model for crop yield prediction.
268 *Scientific Reports*, 11, 17754. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97221-7>
- 269 2. ANSD. (2024). Rapport provisoire, Chapitre 10 : Agriculture. Juillet 2024.
- 270 3. Ardilly, P. (2013). Nature et déterminants de l'erreur d'échantillonnage dans les enquêtes par sondage.
271 *Statistique et Société*, 1(2), 43–50.
- 272 4. Argaw, T., Fenta, B. A., Zegeye H., Azmach, G., & Funga, A. (2025) Multi-environment trials data analysis:
273 linear mixed model-based approaches using spatial and factor analytic models. *Front. Res. Metr. Anal.*
274 10:1472282. <https://doi.org/frma.2025.1472282>
- 275 5. Aymeric, R., Kamel, L., & Sergio, G. Y. P. (2020). Subvention des intrants agricoles au Sénégal (No.
276 JRC120454). *Joint Research Centre, Seville*. <https://doi.org/10.2760/511453>
- 277 6. Bacher, F. (1963). L'échantillonnage. *BINOP : Bulletin de l'Institut national d'étude du travail et d'orientation*
278 *professionnelle*, 19, 37–49.
- 279 7. Banerjee, R., Das, P., Srivastava, V., Kataria, S., Ahmed, B., & Varshney, N. (2023). An overview of statistical
280 techniques for analysis of data in agricultural research. *Emerging Issues in Agricultural Sciences*, 8, 190–206.
281 <https://doi.org/10.9734/bpi/eias/v8/6853C>
- 282 8. Belmin R., (2020). Contribution aux politiques nationales pour une transition agroécologique au Sénégal. Ed.
283 2020, Dakar : DyTAES, 95 p.
- 284 9. Bourgoïn, J., Diop, D., Dia, D., Sall, M., Zagré, R., Grislain, Q., & Anseeuw, W. (2020). Regard sur le modèle
285 agricole sénégalais: pratiques foncières et particularités territoriales des moyennes et grandes exploitations
286 agricoles. *Cah. Agric.*, 29, 18. <https://doi.org/10.1051/cagri/2020018>
- 287 10. Box, G. E., & Cox, D. R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society Series*
288 *B. Statistical Methodology*, 26(2), 211–243. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1964.tb00553.x>
- 289 11. Carvalho, A. M. X. D., Mendes, F. Q., Borges, P. H. D. C., & Kramer, M. (2022). A brief review of the classic
290 methods of experimental statistics. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 45, e56882.
291 <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v45i1.56882>
- 292 12. Efron, B., & Hastie, T. (2021). Computer age statistical inference, student edition: algorithms, evidence, and
293 data science. *Cambridge University Press*, 6.
- 294 13. Efron, B. (1979). Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife. *Annals of Statistics*, 7, 1–26.
295 <https://doi.org/10.1214/aos/1176344552>
- 296 14. Emerson, R. W. (2022). ANOVA Assumptions. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 116, 585–586.
297 <https://doi.org/10.1177/0145482X221124187>

- 298 15. Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2012). Normality tests for statistical analysis: a guide for non-statisticians.
299 *International journal of endocrinology and metabolism*, 10(2), 486. <https://doi.org/10.5812/ijem.3505>
- 300 16. Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). *Statistical Procedures for Agricultural Research*. 2nd Edition, John
301 Wiley and Sons, New York, 680 p.
- 302 17. Greenland, S., Rafi, Z., Matthews, R., & Higgs, M. (2019). To aid scientific inference, emphasize unconditional
303 compatibility descriptions of statistics. arXiv preprint arXiv:1909.08583.
- 304 18. Johnson S. B., Berger R. D. (1982). On the status of statistics in phytophatology. *Phytophatology*, 72, 1014–
305 1015.
- 306 19. Kramer M. H., Paparozzi E. T., Stroup W. W. (2016). Statistics in a Horticultural Journal: problems and
307 solutions. *HortTechnology*, 26 (5): 558–564. <https://doi.org/10.21273/JASHS03747-16>
- 308 20. Lohr, S. L. (2021). *Sampling: Design and Analysis* (3rd ed.). Chapman and Hall/CRC.
- 309 21. Makowski, D., Piraux, F., & Brun, F. (2019). *From Experimental Network to Meta-analysis: Methods and*
310 *Applications with R for Agronomic and Environmental Sciences*. Éditions Quæ, R10,78026 Versailles cedex,
311 France, Springer Netherlands, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-024-1696-1>
- 312 22. Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*. 10th Edition John wiley & sons, 688 p.
- 313 23. Ndiaye, O. (2018). *Analyse des politiques agricoles et commerciales au Sénégal: sécurité et souveraineté*
314 *alimentaire compromises. Maîtrise en environnement, université de Sherbrooke*, 97 p.
- 315 24. Otava, M., & Mylona, K. (2025). Split-plot experiments with replicated runs in pharmaceutical synthesis.
316 *Quality and Reliability Engineering International*, 41(2), 641–651. <https://doi.org/10.1002/qre.3676>
- 317 25. Ramde, F., & Lo, S. B. (2015). *Le Role du Secteur Agricole dans L'Economie du Senegal*. Munich Personal
318 RePEc Archive, Paper No. 81906.
- 319 26. Raudonius, S. (2017). Application of statistics in plant and crop research: important issues. *Zemdirbyste-*
320 *Agriculture*, 104, 377–382. <https://doi.org/10.13080/z-a.2017.104.048>
- 321 27. Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1981). *Principles and procedures of statistics, a biometrical approach* (No. Ed.
322 2, p. 633pp).
- 323 28. Torquebiau, E., (2015). *Changement climatique et agricultures du monde*. Collection *Agricultures et défis du*
324 *monde*, Cirad-AFD. Editions Quæ, 328 p.
- 325 29. Zagre, I., Akinseye, F. M., Worou, O. N., Kone, M., & Faye, A. (2024). Climate change adaptation strategies
326 among smallholder farmers in Senegal's semi-arid zone: role of socio-economic factors and institutional
327 supports. *Frontiers in Climate*, 6, 1332196. <https://doi.org/10.3389/fclim.2024.1332196>