



PROFILS ET DIMENSIONS DE L'INNOVATION DANS LES PME MALGACHES : UNE ANALYSE MULTIVARIEE EXPLORATOIRE

¹ Fidihiery Toky Tantely, ² Rahajamanana Jasmin, ³ ANDRIAMASIMANANA Origène Olivier

⁴ RAKOTOSON Andriatiana Tolontsoa, ⁵ TOVONIRINA Mamiharizo Jackie

¹Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences - Université d'Antananarivo

RESUME : Cette étude analyse les profils et les dimensions de l'innovation dans les PME malgaches à partir d'une approche multivariée exploratoire appliquée à un échantillon de 118 entreprises. L'objectif est d'identifier les structures latentes, les associations entre caractéristiques qualitatives et les profils d'innovation différenciés. L'Analyse Factorielle Multiple montre que les deux premières dimensions expliquent respectivement 11,0 % et 8,2 % de la variance, tandis que la première dimension est fortement corrélée au score moyen d'innovation ($r = 0,76$; $p = 3,42 \times 10^{-23}$). L'Analyse des Correspondances Multiples met en évidence 20,3 % d'inertie cumulée sur les deux premiers axes, alors que l'AFC révèle que 95,8 % de l'inertie de la relation entre nature du secteur et forme juridique est portée par le premier axe. L'association entre ces deux variables est également notable, avec un V de Cramér corrigé proche de 0,40. L'Analyse Factorielle Discriminante présente une exactitude globale de 54,2 %, mais une balanced accuracy de 29,6 %, traduisant une discrimination sectorielle limitée. Enfin, la classification CAH-K-means retient deux groupes, avec un indice de silhouette de 0,337, distinguant des PME à profils d'innovation relativement élevés et faibles. Ces résultats confirment l'hétérogénéité et le caractère multidimensionnel de l'innovation.

Mots-clés : Innovation ; PME malgaches ; Analyse multivariée ; Profils d'innovation ; Typologie.

ABSTRACT: In the context of improving the resilience of earthen walls reinforced with organic materials, this study aims to This study analyses innovation profiles and dimensions among Malagasy small and medium-sized enterprises (SMEs) using an exploratory multivariate approach applied to a sample of 118 enterprises. The objective is to identify latent structures, associations between qualitative characteristics, and differentiated innovation profiles. Multiple Factor Analysis shows that the first two dimensions explain 11.0% and 8.2% of the variance, respectively, while the first dimension is strongly correlated with the mean innovation score ($r = 0.76$; $p = 3.42 \times 10^{-23}$). Multiple Correspondence Analysis reveals a cumulative inertia of 20.3% across the first two axes, whereas Correspondence Analysis shows that 95.8% of the inertia associated with the relationship between sector of activity and legal form is accounted for by the first axis. The association between these two variables is also noteworthy, with a corrected Cramér's V close to 0.40. Discriminant Factor Analysis achieves an overall accuracy of 54.2%, but a balanced accuracy of 29.6%, indicating limited sectoral discrimination. Finally, the Hierarchical Clustering-K-means classification identifies two groups, with a silhouette index of 0.337, distinguishing SMEs with relatively high and low innovation profiles. These findings confirm the heterogeneity and multidimensional nature of innovation.

Keywords: Innovation; Malagasy SMEs; Multivariate Analysis; Innovation Profiles; Typology.

1 Introduction

L'innovation constitue un levier essentiel d'adaptation, de compétitivité et de développement des entreprises dans un environnement économique caractérisé par l'évolution rapide des technologies, des marchés et des attentes des consommateurs. Elle ne se limite pas à la création de nouveaux produits, mais englobe également l'amélioration significative des produits et des processus mis en œuvre par l'entreprise [1]. Pour les petites et moyennes entreprises (PME), la capacité d'innovation revêt une importance particulière, bien que ces structures disposent généralement de ressources humaines, financières et technologiques plus limitées. Le capital humain, la formation, les compétences et la capacité d'adaptation des responsables et des salariés peuvent notamment contribuer significativement à la propension des petites entreprises à innover [2]. L'innovation constitue cependant un phénomène complexe et multidimensionnel dont les différentes manifestations ne peuvent être correctement appréhendées à partir d'un indicateur unique. L'identification de dimensions communes à plusieurs variables nécessite ainsi le recours à des méthodes statistiques multivariées. L'Analyse en Composantes Principales permet notamment de réduire la dimension d'un ensemble de variables tout en conservant une part importante de l'information initiale [3]. De manière complémentaire, l'Analyse Factorielle Multiple permet d'étudier simultanément plusieurs groupes de variables décrivant les mêmes individus, ce qui apparaît particulièrement adapté lorsque l'analyse associe les caractéristiques de l'innovation, de l'entreprise et du répondant [4]. Dans le contexte malgache, l'analyse des profils d'innovation des entreprises présente un intérêt particulier. L'Enquête Entreprises de la Banque mondiale réalisée à Madagascar en 2022 couvre notamment les questions relatives à l'innovation, à l'adoption technologique, aux pratiques de gestion, aux compétences, au financement et à l'environnement des affaires, confirmant l'intérêt d'une approche intégrée des caractéristiques susceptibles de différencier les entreprises [5]. Dans cette perspective, la présente étude vise à identifier les principales dimensions de l'innovation et à caractériser les profils des PME malgaches à partir d'une approche multivariée exploratoire. Elle mobilise différentes méthodes complémentaires, notamment l'ACP, l'AFM, l'ACM, l'AFC, l'AFD ainsi que les techniques de classification, afin de mettre en évidence les structures, associations et typologies qui caractérisent les comportements d'innovation des PME étudiées.

2 Matériels et méthodes

2.1 Matériels

La réalisation de cette étude s'est appuyée sur un ensemble de matériels de collecte, de stockage et de traitement des données adaptés à l'analyse multivariée des profils d'innovation des PME malgaches. Les informations ont été recueillies auprès de 118 PME à l'aide d'un questionnaire structuré comportant des variables relatives aux caractéristiques de l'entreprise, au profil du répondant et à 15 items décrivant différentes dimensions de l'innovation. Les réponses obtenues ont été codifiées et organisées sous forme d'une base de données numérique afin de faciliter leur contrôle, leur nettoyage et leur exploitation statistique. Un ordinateur disposant d'un environnement de calcul scientifique a constitué le principal support matériel pour la préparation de la base, l'exécution des traitements statistiques et la production des représentations graphiques. Le traitement informatique des données a été réalisé dans un environnement Python, en mobilisant plusieurs bibliothèques spécialisées. La bibliothèque Pandas a été utilisée pour structurer, importer, filtrer, recoder et manipuler les données sous forme de tableaux, notamment grâce à ses structures adaptées au traitement des données statistiques [6]. Les opérations numériques et statistiques complémentaires ont reposé sur SciPy, qui fournit un ensemble d'algorithmes destinés au calcul scientifique et à l'analyse quantitative [7]. La bibliothèque Scikit-learn a constitué un outil important pour les traitements multivariés et les procédures de classification. Elle fournit des méthodes destinées à la réduction dimensionnelle, à l'apprentissage supervisé et non supervisé ainsi qu'à l'évaluation des modèles [8]. Elle a notamment permis d'appuyer les analyses de projection, de discrimination, de classification par K-means et de validation des regroupements. Les résultats statistiques ont enfin été représentés graphiquement à l'aide de Matplotlib, bibliothèque permettant de produire des graphiques scientifiques et des visualisations adaptées à la publication [9]. L'ensemble de ces outils a permis de construire les cartes factorielles, les nuages d'individus, les

graphiques de contributions, les matrices de confusion, les profils des clusters et les représentations synthétiques mobilisées pour caractériser la multidimensionnalité et l'hétérogénéité des profils d'innovation des PME étudiées.

2.2 Méthodes

L'analyse des profils et des dimensions de l'innovation des PME malgaches a reposé sur une démarche quantitative exploratoire appliquée aux données recueillies auprès de 118 entreprises. Après la préparation et le codage de la base de données, plusieurs méthodes multivariées complémentaires ont été mobilisées afin d'étudier conjointement les dimensions de l'innovation, les caractéristiques des entreprises et celles des répondants. L'Analyse Factorielle Multiple (AFM) a d'abord été utilisée pour traiter simultanément ces différents groupes de variables définis sur les mêmes PME. Cette méthode permet d'équilibrer l'influence des groupes de variables et de construire des dimensions communes facilitant l'identification des structures générales de différenciation entre les entreprises [10]. Dans l'étude, elle a notamment permis d'examiner les contributions respectives des groupes " Innovation ", " Entreprise " et " Répondant " et de mettre en relation la première dimension factorielle avec le score moyen d'innovation. Les caractéristiques qualitatives des PME ont ensuite été examinées au moyen de l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) et de l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC). L'ACM a été retenue pour représenter simultanément plusieurs variables catégorielles, telles que le secteur économique, la forme juridique, la formation, l'âge et la position hiérarchique, afin d'identifier les proximités entre modalités et les profils qualitatifs dominants. L'AFC a été appliquée plus spécifiquement au croisement entre la nature du secteur et la forme juridique afin d'apprécier graphiquement et factoriellement leur association. Ces méthodes reposent sur la représentation des catégories dans un espace de faible dimension, les modalités présentant des profils similaires tendant à occuper des positions proches [11]. Une Analyse Factorielle Discriminante (AFD), correspondant dans ce contexte à une discrimination linéaire, a également été mobilisée afin d'évaluer dans quelle mesure les 15 variables d'innovation permettaient de différencier les PME selon leur appartenance aux secteurs primaire, secondaire et tertiaire. Cette méthode recherche des combinaisons de variables permettant de maximiser la différenciation entre groupes préalablement connus [12]. La performance discriminante a été appréciée à partir de la matrice de confusion obtenue par validation croisée ainsi que de plusieurs indicateurs, notamment l'exactitude globale, la balanced accuracy et le F1-score macro. Cette étape a permis de déterminer si les profils d'innovation constituaient des critères suffisants pour prédire correctement l'appartenance sectorielle des entreprises. L'identification de profils homogènes d'innovation a ensuite reposé sur une Classification Ascendante Hiérarchique selon la méthode de Ward. Cette approche regroupe progressivement les observations présentant les caractéristiques les plus similaires tout en cherchant à limiter l'accroissement de l'hétérogénéité interne des groupes formés [13]. Le dendrogramme issu de cette procédure a permis d'examiner la structure hiérarchique des rapprochements entre PME et de vérifier l'existence de groupes distincts selon leurs réponses aux différents items d'innovation. Afin de consolider cette typologie, une classification non hiérarchique par K-means a été appliquée aux mêmes profils d'innovation. Le modèle K-means répartit les observations en un nombre prédéfini de groupes de manière à constituer des ensembles aussi homogènes que possible autour de centres représentatifs [14]. Plusieurs nombres de clusters ont été comparés dans l'étude, ce qui a permis de confronter différentes solutions de segmentation avant de retenir celle offrant la meilleure qualité de regroupement. Les profils moyens des quinze items ont ensuite été comparés entre les clusters afin de caractériser les PME présentant des niveaux relativement élevés ou faibles d'innovation. Le choix du nombre final de groupes a été appuyé par le coefficient de silhouette, utilisé comme critère interne d'évaluation de la qualité d'une partition. Cet indicateur confronte, pour chaque observation, sa cohésion avec son propre groupe et sa séparation par rapport aux groupes voisins [15]. Les solutions comprenant de deux à six clusters ont ainsi été comparées, la valeur la plus élevée ayant été obtenue pour une partition en deux groupes avec une silhouette de 0,337. La combinaison de l'AFM, de l'ACM/AFC, de l'AFD, de la CAH de Ward et du K-means a donc permis d'aborder l'innovation sous plusieurs angles complémentaires : structuration des dimensions, associations entre caractéristiques qualitatives, capacité de discrimination sectorielle et identification de typologies de PME.

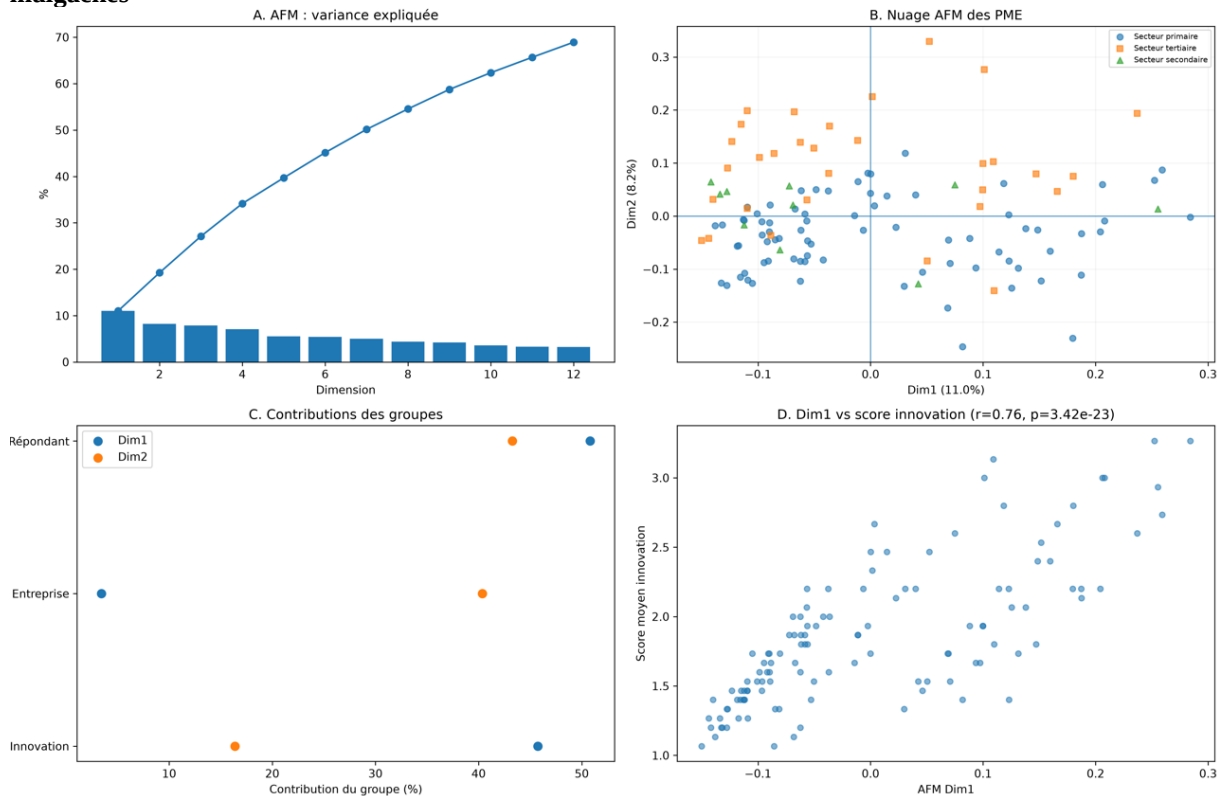
3 Résultats et discussions

3.1 Résultats

3.1.1 Analyse factorielle multiple des dimensions Innovation, Entreprise et Répondant dans les PME malgaches

La Figure 1 suivante illustre les résultats de l'Analyse Factorielle Multiple (AFM) réalisée afin d'examiner simultanément les informations relatives à l'innovation, aux caractéristiques des entreprises et au profil des répondants. Cette approche permet d'apprécier la contribution respective de ces trois groupes de variables à la structuration des différences observées entre les PME. La figure présente la variance expliquée par les dimensions factorielles, la distribution des PME selon leur secteur économique, la contribution des différents groupes de variables aux deux premiers axes ainsi que la relation entre la première dimension factorielle et le score moyen d'innovation.

Figure 1: Analyse factorielle multiple des dimensions Innovation, Entreprise et Répondant dans les PME malgaches



Source : Auteur 2026

Interprétation

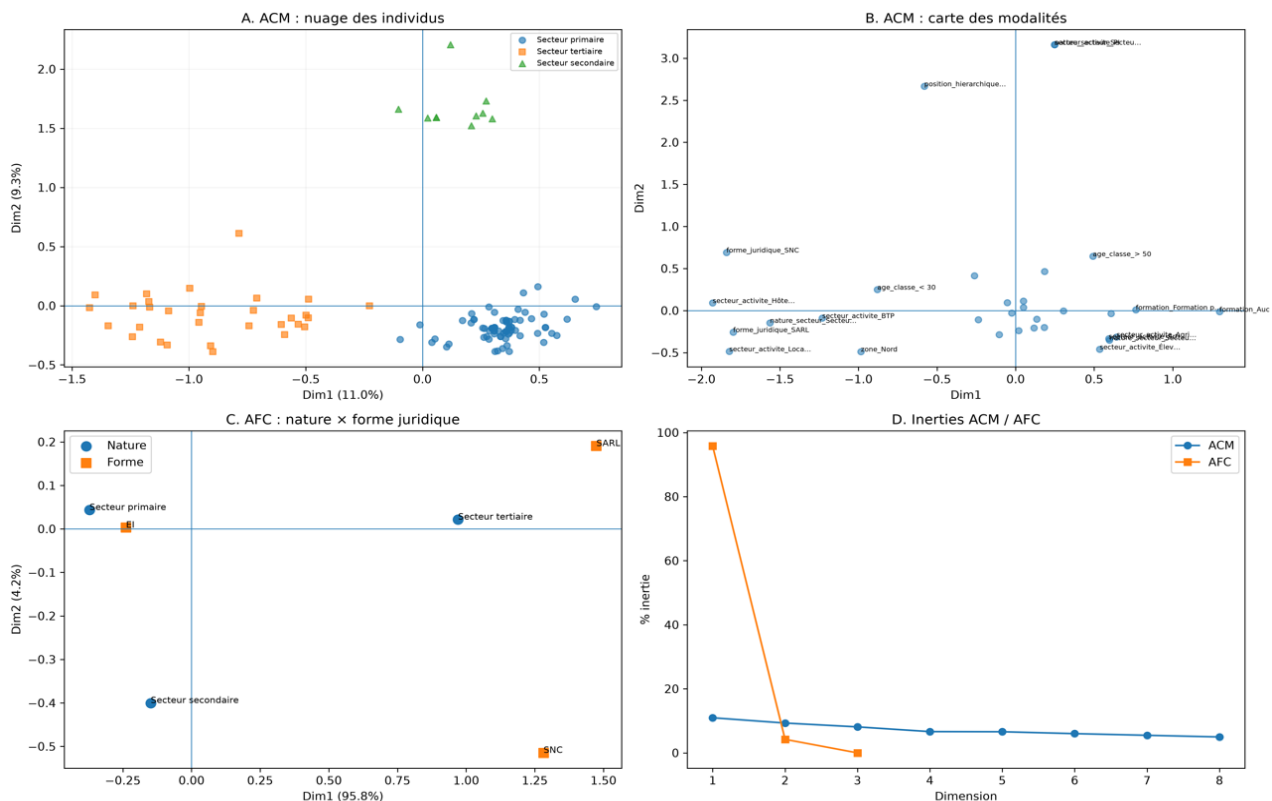
Les résultats montrent que la première dimension de l'AFM explique environ 11,0 % de la variance totale, tandis que la deuxième en représente environ 8,2 %, soit près de 19,2 % de variance cumulée pour les deux premiers axes. La variance expliquée augmente progressivement avec le nombre de dimensions pour atteindre environ 69 % à la douzième dimension. Cette répartition relativement diffuse de l'information confirme que les différences entre les PME ne reposent pas sur une seule dimension dominante, mais résultent de plusieurs composantes complémentaires. Le nuage factoriel des entreprises montre par ailleurs une dispersion relativement importante des PME des secteurs primaire, secondaire et tertiaire. Les trois catégories se chevauchent largement dans l'espace défini par Dim1 et Dim2, ce qui indique l'absence d'une séparation sectorielle nette. Le secteur d'appartenance ne semble donc pas suffire, à lui seul, à expliquer la diversité des profils observés. L'examen des contributions des groupes apporte une information particulièrement importante. Sur la première dimension, les variables relatives au profil du répondant contribuent à environ 51 %, tandis que les variables d'innovation représentent approximativement 46 % de la construction de l'axe ; la contribution des caractéristiques de l'entreprise reste beaucoup plus faible, autour de 3 à 4 %. La première dimension traduit ainsi principalement une combinaison entre le profil des répondants et les comportements d'innovation. Sur la deuxième dimension, la contribution est davantage partagée entre le groupe Répondant, autour de 43 %, et le groupe Entreprise, autour de 40 %, alors que les variables d'innovation contribuent à environ 16 %. Cette deuxième dimension semble donc davantage différencier les PME selon leurs caractéristiques organisationnelles et celles des personnes interrogées. La relation

observée entre la première dimension de l'AFM et le score moyen d'innovation est forte et positive, avec un coefficient de corrélation de $r = 0,76$ et une significativité très élevée ($p = 3,42 \times 10^{-23}$). Ainsi, les PME présentant des coordonnées plus élevées sur la première dimension tendent également à afficher des scores d'innovation plus importants. Ce résultat confirme que Dim1 constitue un axe fortement associé au comportement innovant des entreprises, même si elle intègre également des caractéristiques liées aux répondants. Dans l'ensemble, l'AFM met donc en évidence une structuration multidimensionnelle de l'innovation dans les PME étudiées : les différences observées semblent résulter de l'interaction entre les pratiques d'innovation, les caractéristiques propres aux entreprises et le profil de leurs responsables, plutôt que de la seule appartenance à un secteur économique.

3.1.2 Structuration des caractéristiques qualitatives des PME par ACM et AFC

La Figure 2 ci-dessous présente une analyse exploratoire des variables qualitatives décrivant les PME et leurs répondants à travers une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) et une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC). L'ACM permet d'examiner simultanément la proximité entre les profils des entreprises selon plusieurs caractéristiques catégorielles, tandis que l'AFC approfondit spécifiquement la relation entre la nature du secteur économique et la forme juridique. La représentation des individus, la carte des modalités et l'analyse des inerties permettent ainsi d'identifier les principales oppositions qui structurent l'échantillon et de mettre en évidence les catégories présentant des profils relativement proches.

Figure 2: Structuration des caractéristiques qualitatives des PME par ACM et AFC



Source : Auteur 2026

Interprétation

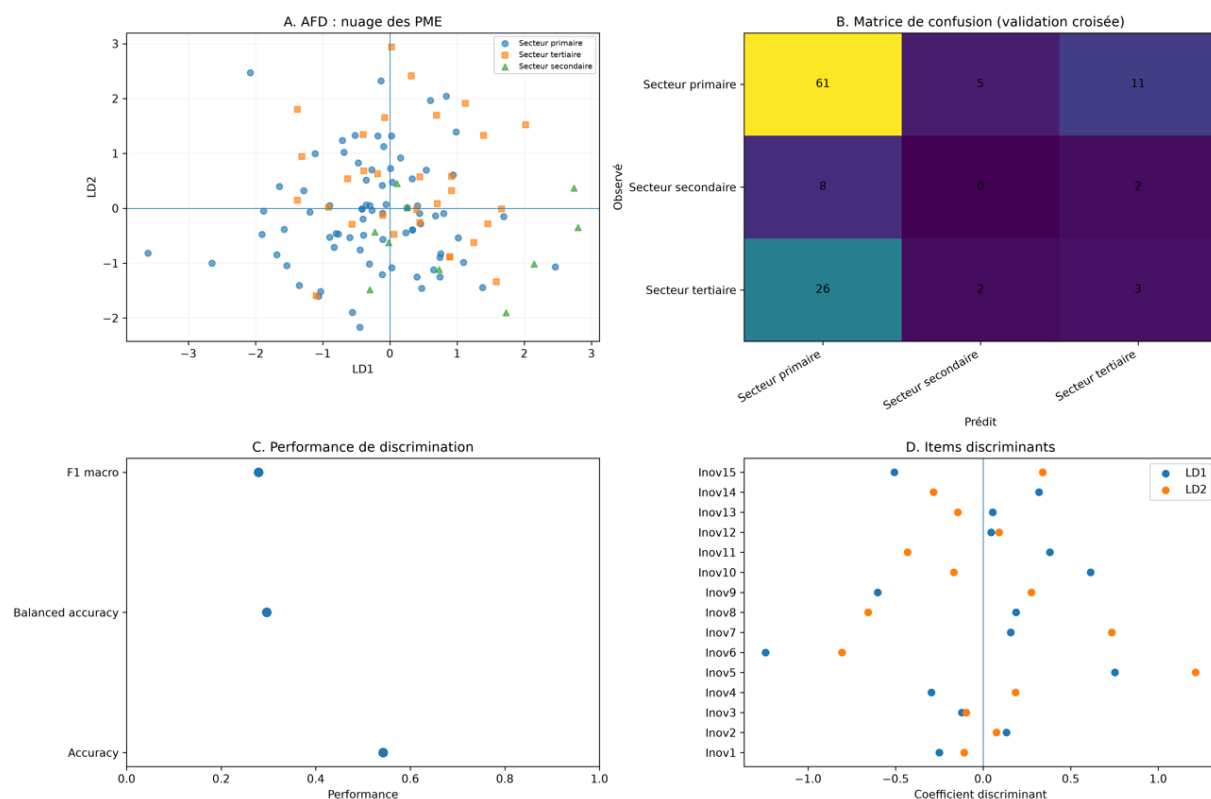
Le nuage des individus issu de l'ACM montre que les deux premières dimensions expliquent respectivement 11,0 % et 9,3 % de l'inertie, soit environ 20,3 % cumulés. Malgré cette part relativement limitée, la représentation fait apparaître une certaine structuration des entreprises selon leur secteur. Les PME du secteur tertiaire se situent principalement dans la partie négative de la première dimension, tandis que celles du secteur primaire sont davantage regroupées dans la partie positive de Dim1 et légèrement négative de Dim2. Les entreprises du secteur secondaire, moins nombreuses dans l'échantillon, occupent principalement la partie positive de la seconde dimension. Cette organisation suggère l'existence de profils qualitatifs différenciés entre les secteurs, même si les deux premiers axes ne résument qu'une partie de l'information totale et doivent donc être interprétés avec prudence. La carte des modalités complète cette lecture en montrant que certaines catégories sont proches du centre de l'espace factoriel, tandis que d'autres se situent davantage aux extrémités et contribuent ainsi plus fortement à la différenciation des profils. Plusieurs modalités relatives à la forme juridique, au secteur d'activité, à la classe d'âge, à la formation et à la position hiérarchique participent à cette structuration. Les modalités éloignées de

l'origine correspondent aux caractéristiques les plus discriminantes, alors que celles situées près du centre sont davantage partagées par l'ensemble des PME. Cette représentation confirme que les profils observés résultent d'une combinaison de caractéristiques propres à l'entreprise et au répondant plutôt que d'une seule variable isolée. L'AFC consacrée au croisement entre la nature du secteur et la forme juridique fournit une structure beaucoup plus nette. La première dimension explique à elle seule 95,8 % de l'inertie, contre seulement 4,2 % pour la seconde, ce qui signifie que l'essentiel de l'association entre ces deux variables peut être interprété sur un axe principal. Le secteur primaire apparaît étroitement associé à la forme entreprise individuelle (EI), ce qui est cohérent avec la forte concentration observée précédemment, où 76 des 77 PME du secteur primaire sont constituées sous cette forme. À l'opposé, le secteur tertiaire se positionne davantage du côté des formes juridiques telles que la SARL, traduisant une plus grande diversification juridique. Le secteur secondaire occupe une position spécifique sur le second axe, mais son interprétation doit rester prudente compte tenu de son faible effectif dans l'échantillon. Ces résultats montrent que les caractéristiques qualitatives des PME malgaches ne sont pas distribuées de manière totalement aléatoire. La structure factorielle met notamment en évidence une relation marquée entre la nature du secteur et la forme juridique, tandis que les autres caractéristiques contribuent à différencier plus progressivement les profils des entreprises et des répondants. L'ACM souligne ainsi l'hétérogénéité des configurations entrepreneuriales, alors que l'AFC confirme que certaines formes juridiques sont davantage associées à certains secteurs économiques. Ces éléments complètent les analyses précédentes en montrant que l'étude des déterminants de l'innovation doit tenir compte de la diversité structurelle des PME et des profils qui les caractérisent.

3.1.3 Capacité discriminante des variables d'innovation selon la nature du secteur des PME

La Figure 3 ci-dessous présente les résultats de l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD) appliquée aux variables d'innovation afin d'évaluer dans quelle mesure celles-ci permettent de différencier les PME appartenant aux secteurs primaires, secondaire et tertiaire. L'analyse combine la projection des entreprises sur les deux fonctions discriminantes, une matrice de confusion obtenue par validation croisée, des indicateurs globaux de performance ainsi que les coefficients associés aux différents items d'innovation. Elle permet ainsi d'apprécier à la fois la séparation entre les groupes sectoriels et les variables qui contribuent le plus à cette différenciation.

Figure 3: Capacité discriminante des variables d'innovation selon la nature du secteur des PME



Source : Auteur 2026

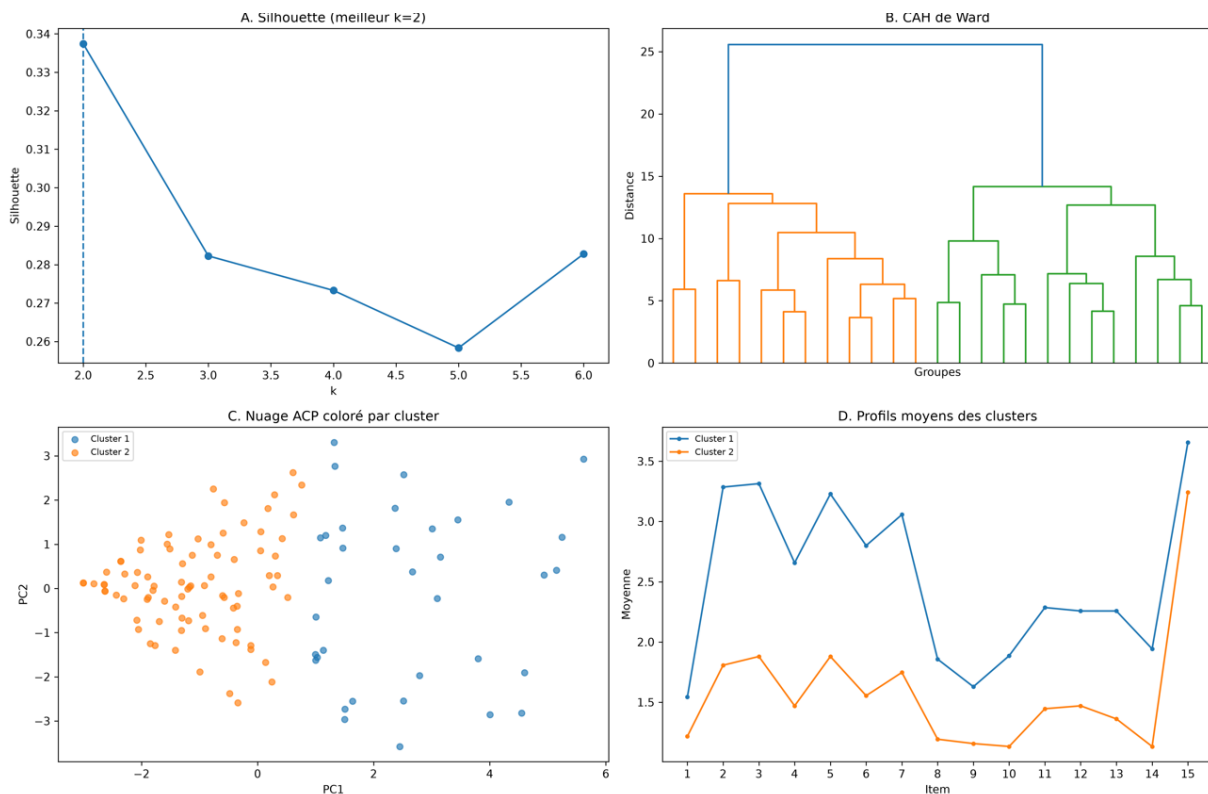
Interprétation

Le nuage factoriel met tout d'abord en évidence un chevauchement important des trois catégories sectorielles dans l'espace défini par les fonctions discriminantes LD1 et LD2. Les PME du secteur primaire occupent une zone relativement étendue autour du centre, tandis que les entreprises tertiaires et secondaires sont également dispersées dans des espaces largement communs. Quelques observations secondaires se situent davantage dans la partie positive de LD1 et négative de LD2, mais cette tendance ne conduit pas à une séparation nette des groupes. Cette configuration suggère que les comportements d'innovation mesurés par les différents items ne suffisent pas, à eux seuls, à caractériser clairement l'appartenance sectorielle des PME. La matrice de confusion issue de la validation croisée confirme cette capacité discriminante relativement limitée. Parmi les 77 PME du secteur primaire, 61 sont correctement classées, soit environ 79,2 %, tandis que 5 sont classées comme secondaires et 11 comme tertiaires. En revanche, aucune des 10 PME du secteur secondaire n'est correctement identifiée : 8 sont attribuées au secteur primaire et 2 au secteur tertiaire. Pour le secteur tertiaire, seulement 3 entreprises sur 31, soit environ 9,7 %, sont correctement classées, alors que 26 sont affectées au secteur primaire et 2 au secteur secondaire. Globalement, 64 entreprises sur 118 sont correctement classées, ce qui correspond à une exactitude d'environ 54,2 %. Cette performance globale doit néanmoins être interprétée avec prudence en raison du déséquilibre important des effectifs entre les trois secteurs. En effet, le modèle tend fortement à privilégier le secteur primaire, qui représente la catégorie majoritaire de l'échantillon. Cette situation est confirmée par une balanced accuracy d'environ 29,6 % et un F1-score macro proche de 28 %, nettement inférieurs à l'exactitude globale de 54,2 %. Ces indicateurs montrent que le modèle identifie relativement bien les PME primaires, mais éprouve d'importantes difficultés à reconnaître les entreprises secondaires et tertiaires. L'appartenance sectorielle ne semble donc pas pouvoir être prédite de manière satisfaisante à partir des seules variables d'innovation considérées. L'examen des coefficients discriminants permet néanmoins d'identifier certains items participant davantage à la construction des fonctions LD1 et LD2. Sur la première fonction, Innov6 présente notamment un coefficient négatif particulièrement élevé en valeur absolue, tandis que Innov5 et Innov10 figurent parmi les contributions positives les plus importantes. Sur la seconde fonction, Innov5 se distingue par le coefficient positif le plus marqué, suivi notamment d'Innov7, alors que certains items tels qu'Innov6, Innov8 ou Innov11 contribuent dans le sens opposé. Ces résultats indiquent que certaines dimensions de l'innovation participent davantage que d'autres à la différenciation statistique des PME. Toutefois, compte tenu du fort chevauchement des groupes et des faibles performances de classification équilibrée, ces coefficients doivent être considérés comme des indications exploratoires plutôt que comme des facteurs permettant de déterminer avec certitude le secteur d'appartenance. Dans l'ensemble, l'AFD renforce ainsi l'idée que les pratiques d'innovation traversent les différents secteurs économiques et que leur diversité ne peut être expliquée uniquement par la nature sectorielle des PME malgaches.

3.1.4 Typologie exploratoire des PME selon leurs profils d'innovation par CAH et K-means

La Figure 4 suivant présente une typologie exploratoire des PME fondée sur les quinze items relatifs à l'innovation, en combinant une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) selon la méthode de Ward et une classification par K-means. L'objectif est d'identifier des groupes d'entreprises présentant des profils d'innovation relativement homogènes. Le choix du nombre de groupes repose sur l'indice de silhouette, puis la structure retenue est examinée à travers le dendrogramme, la projection des entreprises dans l'espace de l'ACP et la comparaison des profils moyens des clusters.

Figure 4: Typologie exploratoire des PME selon leurs profils d'innovation par CAH et K-means



Source : Auteur 2026

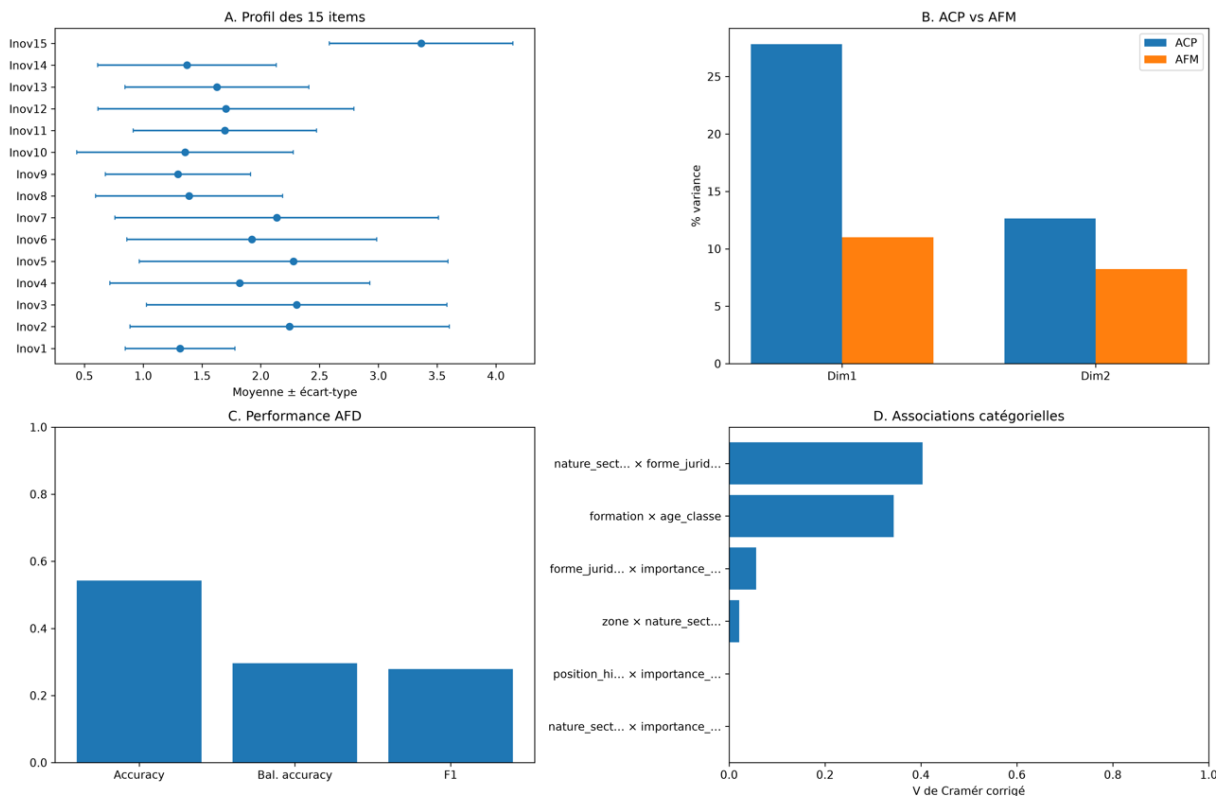
Interprétation

L'analyse de silhouette indique que la meilleure partition correspond à deux clusters, avec un coefficient d'environ 0,337 pour ($k=2$). Cette valeur est supérieure à celles obtenues pour trois, quatre, cinq et six groupes, respectivement proches de 0,282, 0,273, 0,258 et 0,283. La solution à deux groupes apparaît donc comme la structure la plus pertinente parmi les configurations testées. Toutefois, la valeur de silhouette restant inférieure à 0,50, la séparation entre les groupes peut être considérée comme modérée plutôt que parfaitement nette. Le dendrogramme obtenu par la méthode de Ward confirme cette organisation en faisant apparaître deux branches principales relativement distinctes, ce qui renforce le choix d'une typologie à deux profils. La projection des PME sur les deux premiers axes de l'ACP montre également une différenciation principalement portée par le premier axe. Le cluster 1 se situe majoritairement dans la partie positive de PC1, tandis que le cluster 2 se concentre davantage dans la partie négative ou proche de zéro. Un certain chevauchement demeure néanmoins entre les deux groupes autour de la zone centrale, ce qui est cohérent avec la valeur modérée de l'indice de silhouette. La classification met ainsi en évidence deux profils généraux d'entreprises plutôt qu'une opposition totalement tranchée entre catégories homogènes. La comparaison des moyennes des quinze items fournit l'interprétation la plus nette de cette typologie. Le cluster 1 présente systématiquement des scores moyens d'innovation plus élevés que le cluster 2 sur presque tous les items. Les écarts sont particulièrement visibles pour les items Innov2, Innov3, Innov5 et Innov7, dont les valeurs moyennes du premier cluster se situent autour de 3,1 à 3,3, contre environ 1,7 à 1,9 dans le second. Les items Innov11 à Innov13 présentent également des différences appréciables, avec des moyennes proches de 2,2 à 2,3 pour le cluster 1 contre environ 1,3 à 1,5 pour le cluster 2. L'item Innov15 obtient les scores les plus élevés dans les deux groupes, autour de 3,7 pour le cluster 1 et 3,3 pour le cluster 2, indiquant qu'il représente une dimension relativement importante de l'innovation pour l'ensemble des PME. Cette classification permet donc de distinguer un premier groupe correspondant à des PME présentant un profil d'innovation relativement plus développé, et un second regroupant des PME caractérisées par des niveaux d'innovation plus faibles sur la majorité des dimensions étudiées. Cette typologie confirme l'existence d'une hétérogénéité importante des comportements innovants au sein de l'échantillon. Elle suggère ainsi que les PME malgaches ne constituent pas un ensemble uniforme face à l'innovation et que les facteurs favorisant l'innovation pourraient agir différemment selon le profil auquel appartient l'entreprise. Compte tenu de la valeur modérée de l'indice de silhouette, cette segmentation doit néanmoins être considérée comme une typologie exploratoire, à compléter par l'analyse des caractéristiques propres à chacun des deux groupes.

3.1.5 Synthèse des principaux résultats multivariés sur l'innovation dans les PME malgaches

La Figure 15 ci-après propose une lecture synthétique des principales analyses multivariées réalisées afin de caractériser l'innovation au sein des PME étudiées. Elle regroupe le profil moyen des quinze items d'innovation, la comparaison de la variance expliquée par l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et l'Analyse Factorielle Multiple (AFM), les performances de l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD), ainsi que l'intensité des principales associations entre variables catégorielles. Cette représentation permet ainsi de mettre en perspective les différents résultats obtenus et d'identifier les dimensions qui contribuent le plus à la différenciation des comportements d'innovation.

Figure 5: Synthèse des principaux résultats multivariés sur l'innovation dans les PME malgaches



Source : Auteur 2026

Interprétation

Le profil des quinze items fait apparaître une forte hétérogénéité des niveaux moyens observés. Innov15 se distingue nettement avec une moyenne supérieure à 3,3, constituant l'item présentant le niveau le plus élevé. Les items Innov2, Innov3, Innov5 et Innov7 affichent également des moyennes relativement importantes, situées globalement autour de 2,1 à 2,3. À l'inverse, plusieurs dimensions telles qu'Innov1, Innov8, Innov9, Innov10 et Innov14 présentent des moyennes plus faibles, généralement comprises entre 1,3 et 1,4. Les écarts-types relativement importants observés pour certains items, notamment Innov2, Innov3, Innov5 et Innov7, témoignent par ailleurs d'une diversité appréciable des pratiques et perceptions d'innovation entre les PME. Ce résultat confirme que l'innovation ne se manifeste pas avec la même intensité dans toutes ses dimensions. La comparaison entre l'ACP et l'AFM souligne également cette complexité multidimensionnelle. Dans l'ACP, la première composante explique 27,8 % de la variance et la deuxième 12,6 %, soit 40,4 % pour les deux premiers axes. Dans l'AFM, les deux premières dimensions expliquent respectivement environ 11,0 % et 8,2 %, soit 19,2 % de l'information totale. Cette diminution est cohérente avec le fait que l'AFM prend simultanément en considération plusieurs groupes de variables, notamment celles relatives à l'innovation, à l'entreprise et au répondant. Elle traduit ainsi une répartition plus diffuse de l'information et confirme que les différences entre PME résultent de plusieurs dimensions complémentaires plutôt que d'un seul facteur dominant. Les résultats de l'AFD apportent toutefois une nuance importante concernant la capacité des variables d'innovation à distinguer les PME selon leur secteur économique. L'exactitude globale de classification atteint environ 54,2 %, alors que la balanced accuracy est

proche de 29,6 % et le F1-score macro d'environ 28 %. L'écart entre l'exactitude globale et les deux autres indicateurs montre que la performance apparente du modèle est en grande partie influencée par la forte représentation du secteur primaire. Les comportements d'innovation ne permettent donc pas de discriminer efficacement les trois secteurs, ce qui suggère que des profils innovants comparables peuvent exister dans des activités économiques différentes. L'analyse des associations catégorielles montre que la relation la plus importante concerne la nature du secteur et la forme juridique, avec un V de Cramér corrigé proche de 0,40. L'association entre la formation et la classe d'âge apparaît également notable, avec une valeur d'environ 0,34. Les autres associations sont beaucoup plus faibles, notamment celles impliquant l'importance accordée à l'innovation, dont les coefficients restent proches de zéro. Dans l'ensemble, cette synthèse confirme que l'innovation dans les PME malgaches présente une structure hétérogène et multidimensionnelle. Les caractéristiques sectorielles et juridiques contribuent à différencier certains profils d'entreprises, mais elles ne suffisent pas à expliquer seules les comportements innovants. Les résultats invitent ainsi à considérer conjointement les dimensions propres à l'entreprise, aux répondants et aux pratiques d'innovation pour mieux comprendre les facteurs associés à la dynamique innovante des PME malgaches..

3.2 Discussions

Les résultats mettent en évidence le caractère fortement multidimensionnel de l'innovation dans les PME malgaches. L'Analyse Factorielle Multiple montre que les deux premières dimensions n'expliquent qu'environ 19,2 % de la variance totale, ce qui indique que les différences entre entreprises reposent sur plusieurs dimensions complémentaires. La forte corrélation entre la première dimension de l'AFM et le score moyen d'innovation, avec $r = 0,76$, confirme néanmoins que cet axe résume une part importante du comportement innovant des PME. Les analyses qualitatives révèlent également que certaines caractéristiques structurelles sont liées entre elles. L'AFC montre notamment que la relation entre la nature du secteur et la forme juridique est largement portée par le premier axe, qui explique 95,8 % de l'inertie, tandis que le V de Cramér corrigé proche de 0,40 confirme une association non négligeable entre ces deux variables. En revanche, l'Analyse Factorielle Discriminante montre que les variables d'innovation permettent difficilement de distinguer les PME selon leur secteur économique. Malgré une exactitude globale de 54,2 %, la balanced accuracy de 29,6 % et le F1-score macro proche de 28 % traduisent une capacité de classification limitée, particulièrement pour les secteurs secondaire et tertiaire. Cela suggère que les pratiques innovantes dépassent les frontières sectorielles et que l'appartenance à un secteur ne suffit pas à expliquer les différences observées. La classification des PME apporte enfin un éclairage complémentaire. La solution à deux clusters, retenue avec un indice de silhouette de 0,337, distingue un groupe présentant globalement des niveaux d'innovation plus élevés d'un second groupe caractérisé par des scores plus faibles. Toutefois, la valeur modérée de la silhouette montre que cette séparation reste partielle et que les profils ne sont pas totalement homogènes. Dans l'ensemble, les différentes méthodes convergent vers l'idée que l'innovation dans les PME malgaches ne peut être réduite à un facteur unique ni à la seule appartenance sectorielle. Elle résulte plutôt de configurations combinant les caractéristiques de l'entreprise, celles des responsables et plusieurs dimensions des pratiques d'innovation, ce qui justifie l'utilisation d'une approche multivariée exploratoire.

4 Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'explorer les profils et les dimensions de l'innovation au sein des PME malgaches à partir de plusieurs méthodes d'analyse multivariée complémentaires. Les résultats montrent que l'innovation présente une structure complexe et multidimensionnelle, qui ne peut être résumée par une seule caractéristique de l'entreprise. L'Analyse Factorielle Multiple met en évidence une première dimension fortement liée au niveau moyen d'innovation, avec une corrélation de $r = 0,76$, tandis que les deux premiers axes n'expliquent qu'environ 19,2 % de la variance totale, confirmant la dispersion de l'information entre plusieurs dimensions. Les analyses qualitatives montrent également que certaines caractéristiques structurelles, notamment la nature du secteur et la forme juridique, sont associées de manière notable, avec un V de Cramér corrigé proche de 0,40. Toutefois, les résultats de l'Analyse Factorielle Discriminante indiquent que les variables d'innovation ne permettent pas de distinguer efficacement les PME selon leur secteur économique. L'exactitude globale de 54,2 %, associée à une balanced accuracy de 29,6 %, souligne ainsi la faible capacité discriminante du modèle entre les trois secteurs étudiés. La classification par CAH et K-means permet enfin d'identifier deux profils principaux de PME, caractérisés respectivement par des niveaux d'innovation relativement élevés et plus faibles. L'indice de silhouette de 0,337 indique cependant que cette segmentation reste modérée et doit être interprétée dans une perspective exploratoire. Dans l'ensemble, ces résultats montrent que l'innovation dans les PME malgaches résulte d'une combinaison de dimensions liées aux pratiques d'innovation, aux caractéristiques de l'entreprise et au profil des

responsables. L'approche multivariée adoptée permet ainsi de mieux caractériser l'hétérogénéité des comportements innovants et constitue une base utile pour approfondir ultérieurement l'analyse des mécanismes favorisant l'innovation dans les PME malgaches.

REFERENCES

- [1] . OECD/Eurostat. (2018). Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation. 4th Edition. OECD Publishing, Paris/Eurostat, Luxembourg.
- [2] McGuirk, H., Lenihan, H., & Hart, M. (2015). Measuring the impact of innovative human capital on small firms' propensity to innovate. *Research Policy*, 44(4), 965–976.
- [3] Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 374(2065), 20150202.
- [4] Escofier, B., & Pagès, J. (1994). Multiple factor analysis (AFMULT package). *Computational Statistics & Data Analysis*, 18(1), 121–140.
- [5] World Bank. (2022). Madagascar — World Bank Enterprise Survey 2022. World Bank Group, Washington, DC.
- [6] McKinney, W. (2010). Data Structures for Statistical Computing in Python. *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*, 56–61.
- [7] Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., et al. (2020). SciPy 1.0: Fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods*, 17, 261–272.
- [8] Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., et al. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825–2830.
- [9] Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D Graphics Environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90–95.
- [10] Escofier, B., & Pagès, J. (1994). Multiple factor analysis (AFMULT package). *Computational Statistics & Data Analysis*, 18(1), 121–140.
- [11] Greenacre, M. (2017). *Correspondence Analysis in Practice*. 3rd ed. Chapman & Hall/CRC, Taylor & Francis.
- [12] Fisher, R. A. (1936). The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of Eugenics*, 7(2), 179–188.
- [13] Ward, J. H. Jr. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236–244.
- [14] MacQueen, J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 1, 281–297.
- [15] Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 20, 53–65.