

Financer ne suffit pas : rendements hétérogènes de la R&D et qualité institutionnelle dans la production de connaissances des pays en développement

Marie Crescence Nadine OKALA MFEGUE

Faculté des Sciences Économiques et de Gestion, Université d'Ebolowa, Cameroun - okalanad2014@gmail.com

Type de contribution : Article de recherche

Résumé : Cet article examine une question simple, mais décisive : davantage de financement de la recherche produit-il automatiquement davantage de connaissances dans les pays en développement ? En articulant théorie des biens publics, croissance endogène et systèmes nationaux d'innovation, l'étude analyse la conversion des dépenses de recherche et développement (R&D) en publications scientifiques et en brevets. Elle mobilise deux panels non cylindrés couvrant 1995-2024 : 105 pays pour la production scientifique et jusqu'à 66 pays pour l'innovation. Les estimations combinent effets fixes, erreurs de Driscoll-Kraay, GLS, GMM en système et variables instrumentales de Lewbel ; une régression quantile teste aussi l'hétérogénéité des rendements. Les résultats montrent un effet positif et robuste des dépenses de R&D sur les publications et les brevets. Toutefois, le rendement du financement n'est pas uniforme. Pour la production scientifique, le coefficient de R&D passe de 0,397 au 15e quantile à 0,870 au 95e quantile. Plusieurs indicateurs de gouvernance sont également positifs, notamment le contrôle de la corruption, l'efficacité gouvernementale, la qualité réglementaire, l'État de droit et l'indicateur voix et responsabilité. L'article montre ainsi que le financement constitue une ressource nécessaire, mais que sa conversion dépend des capacités scientifiques et institutionnelles. Il recommande des financements pluriannuels, différenciés selon les capacités d'absorption, associés à des infrastructures de recherche, une gouvernance crédible et des interfaces université-industrie-État.

Mots-clés : Financement de la recherche ; R&D ; production scientifique ; innovation ; qualité institutionnelle ; pays en développement

Abstract : This article addresses a simple but consequential question: does more research funding automatically generate more knowledge in developing countries? Drawing on public-good theory, endogenous growth, and national innovation systems, it examines how research and development (R&D) expenditure is converted into scientific publications and patents. The empirical design uses two unbalanced panels covering 1995-2024: 105 countries for scientific output and up to 66 countries for innovation. Fixed-effects models are combined with Driscoll-Kraay standard errors, GLS, system GMM, and Lewbel instrumental-variable estimators; quantile regression assesses heterogeneous returns. R&D expenditure has a positive and robust association with both scientific output and patenting. Yet the return to funding is far from uniform. For scientific output, the R&D coefficient rises monotonically from 0.397 at the 15th percentile to 0.870 at the 95th percentile. Several governance indicators - including control of corruption, government effectiveness, regulatory quality, rule of law, and voice and accountability - are also positive. The evidence therefore shifts the debate from the volume of funding to the capacity to convert funding into knowledge. The article argues that money is necessary but not sufficient: effective research policy must combine predictable multi-year funding with institutional credibility, research infrastructure, human capital, and university-industry-government interfaces. Funding formulas should also reflect heterogeneous absorptive capacities rather than impose uniform targets across countries.

Keywords : Research funding; R&D; scientific output; innovation; institutional quality; developing countries

Classification JEL : O31 ; O32 ; O38 ; O43

Recherche - Innovation - Management - Organisations

Introduction

Dans les économies contemporaines, la connaissance est devenue une infrastructure productive. Elle soutient l'innovation, la productivité et l'autonomie technologique. Pourtant, son financement reste profondément asymétrique. Les économies avancées disposent de bases fiscales, d'universités et de mécanismes d'allocation plus solides. Les pays en développement affrontent, eux, des budgets contraints et des systèmes scientifiques fragmentés. Cette tension nourrit une question de politique publique majeure : augmenter les dépenses de R&D suffit-il réellement à accroître la production de connaissances ?

La réponse intuitive est positive. La connaissance possède des propriétés de non-rivalité et de diffusion qui justifient l'intervention publique (Arrow, 1962 ; Samuelson, 1954). Les modèles de croissance endogène placent aussi les idées, le capital humain et l'innovation au cœur de la croissance de long terme (Lucas, 1988 ; Romer, 1990 ; Aghion & Howitt, 1992). Dans cette perspective, les dépenses de R&D augmentent le stock de connaissances disponible. Elles financent les laboratoires, les équipements, les chercheurs, les collaborations et l'expérimentation. Elles devraient donc accroître les publications scientifiques et les innovations brevetables.

Cependant, l'évidence empirique ne soutient pas une relation mécanique. Auranen et Nieminen (2010) montrent qu'une hausse du financement ou de la compétition ne se traduit pas automatiquement par une meilleure efficience scientifique. Hu (2020) observe un effet positif du financement public en Chine, mais fortement hétérogène selon les chercheurs et les institutions. Wang et al. (2018) montrent aussi que le mode d'allocation influence la nouveauté des résultats scientifiques. Plus récemment, Banal-Estañol et al. (2023) concluent qu'un financement lié à la performance peut améliorer les résultats globaux tout en renforçant leur concentration institutionnelle. Le problème n'est donc plus seulement de savoir combien financer. Il faut comprendre comment les ressources sont converties en résultats.

Cette question est particulièrement importante dans les pays en développement. Les contraintes d'infrastructure, la volatilité budgétaire et la faiblesse des interfaces entre science et industrie peuvent réduire le rendement de la dépense. Les institutions jouent aussi un rôle central. Castellacci et al. (2022) montrent que la qualité institutionnelle favorise l'investissement en R&D dans 57 économies en développement ou en transition. Dans les organisations académiques, les structures, la culture de recherche et l'allocation des ressources influencent également la productivité (Ryazanova & Jaskiene, 2022). Ces travaux suggèrent que le financement doit être analysé avec l'architecture institutionnelle qui l'absorbe.

La littérature présente néanmoins trois limites pour les pays en développement. Premièrement, de nombreux travaux étudient des économies avancées ou des dispositifs nationaux particuliers. Deuxièmement, les publications et les brevets sont souvent analysés séparément. Troisièmement, l'hétérogénéité du rendement du financement reste insuffisamment documentée sur l'ensemble de la distribution scientifique. Or deux pays recevant un effort financier comparable peuvent disposer de capacités très différentes pour transformer cet effort en connaissances visibles et valorisables.

Cet article répond à la question suivante : dans quelle mesure les dépenses de R&D améliorent-elles la production scientifique et l'innovation dans les pays en développement, et que révèlent les différences institutionnelles et de capacité scientifique sur l'efficacité de cette conversion ? L'analyse couvre 1995-2024. Elle mobilise un panel non cylindré de 105 pays pour les publications scientifiques. Une seconde base couvre jusqu'à 66 pays pour les brevets de résidents et de non-résidents. Les estimations combinent effets fixes, Driscoll-Kraay, GLS, GMM en système, variables instrumentales et régressions quantiles.

L'article apporte quatre contributions. Il propose d'abord une lecture intégrée de la production de connaissances, combinant science publiée et innovation brevetée. Il renforce ensuite la crédibilité empirique par plusieurs stratégies d'estimation face à la dépendance transversale, l'autocorrélation et l'endogénéité. Il met surtout en évidence une forte hétérogénéité distributionnelle : le rendement estimé de la R&D augmente avec le niveau de production scientifique. Enfin, il montre que plusieurs dimensions de gouvernance restent associées à de meilleures performances. Cette dernière évidence ne constitue pas un test formel de modération. Elle indique plutôt que la qualité institutionnelle fait partie de l'environnement de conversion du financement.

La suite de l'article est organisée en quatre sections. La première construit le cadre théorique et les hypothèses. La deuxième présente les données et la stratégie empirique. La troisième expose les résultats principaux et les tests de robustesse. La quatrième discute les contributions, les implications et les limites.

1. Cadre théorique et développement des hypothèses

1.1. Le financement de la recherche comme investissement dans un bien cumulatif

La première justification du financement scientifique repose sur les défaillances de marché. Une idée peut être utilisée simultanément par plusieurs acteurs. Sa diffusion produit des externalités qui ne sont pas entièrement appropriables par son producteur. Arrow (1962) en déduit un sous-investissement privé probable dans l'invention. Le financement public devient alors un mécanisme de correction. Cette logique est particulièrement pertinente pour la recherche fondamentale, dont les rendements sont incertains, différés et largement diffusables.

La croissance endogène complète ce raisonnement. Romer (1990) formalise l'idée selon laquelle l'accumulation de connaissances soutient durablement la productivité. Aghion et Howitt (1992) montrent que l'innovation renouvelle les technologies par destruction créatrice. Les dépenses de R&D alimentent alors une fonction de production de connaissances. Elles permettent d'acheter du temps scientifique, des équipements et des données. Elles rendent aussi possibles les collaborations et la formation avancée. Griliches (1979) fournit une base empirique durable à cette relation entre effort de R&D et résultats d'innovation.

Dans les pays en développement, ce mécanisme devrait être particulièrement puissant lorsque les contraintes financières sont fortes. Un financement additionnel peut relâcher des goulots d'étranglement matériels. Il peut aussi stabiliser les trajectoires des équipes. Les résultats du mémoire montrent une relation positive entre dépenses de R&D et publications.

Ils montrent également une relation positive avec les brevets de résidents et de non-résidents. Ces deux résultats conduisent aux hypothèses centrales.

***H1.** Les dépenses de recherche et développement exercent un effet positif sur la production scientifique des pays en développement.*

***H2.** Les dépenses de recherche et développement exercent un effet positif sur l'innovation brevetée dans les pays en développement.*

1.2. Institutions, systèmes d'innovation et capacité de conversion

Le modèle linéaire du financement reste incomplet. Les systèmes nationaux d'innovation insistent sur les interactions entre universités, entreprises, administrations et organisations intermédiaires (Freeman, 1995 ; Lundvall, 1992 ; Nelson, 1993). Le financement ne produit pas directement un brevet ou un article. Il traverse des organisations, des règles et des réseaux. La qualité de ces arrangements détermine la vitesse de circulation des connaissances, la sélection des projets et leur valorisation.

La Triple Helix prolonge cette perspective. Etzkowitz et Leydesdorff (2000) considèrent les relations université-industrie-gouvernement comme une infrastructure d'innovation. Dans un environnement coordonné, une subvention peut financer une recherche, attirer un partenaire industriel et créer un débouché technologique. Dans un environnement fragmenté, la même ressource peut rester isolée dans un laboratoire. Cette logique explique pourquoi une hausse budgétaire peut produire des rendements très différents selon les pays.

La qualité institutionnelle agit par plusieurs canaux. Elle réduit les coûts de transaction, sécurise les contrats et limite l'incertitude réglementaire. Elle peut aussi améliorer la sélection des projets et la traçabilité des ressources. Castellacci et al. (2022) montrent que les entreprises investissent davantage en R&D lorsque l'environnement institutionnel garantit davantage de stabilité et d'exécution des contrats. Les résultats disponibles dans notre base prolongent cette intuition pour la production scientifique. Le contrôle de la corruption, l'efficacité gouvernementale, la qualité réglementaire, l'État de droit et l'indicateur voix et responsabilité présentent des coefficients positifs dans les spécifications de robustesse.

Cette évidence doit toutefois être interprétée prudemment. Les indicateurs institutionnels sont introduits comme variables additionnelles. Le modèle ne contient pas d'interactions entre institutions et dépenses de R&D. Il ne permet donc pas d'estimer une modération causale. Il montre néanmoins que le financement n'épuise pas l'explication. Dans plusieurs spécifications institutionnelles, son coefficient devient moins stable. La performance scientifique semble ainsi dépendre d'un assemblage de ressources et de capacités de gouvernance.

1.3. Rendements hétérogènes et logique de capacité cumulative

Les systèmes scientifiques n'absorbent pas les ressources à partir du même point de départ. Certains disposent déjà de chercheurs expérimentés, de réseaux internationaux et d'infrastructures numériques. D'autres doivent d'abord construire ces capacités. La notion de capacité d'absorption fournit une grille utile pour interpréter cette différence. Cohen et Levinthal (1990) montrent que les connaissances antérieures facilitent l'assimilation de nouvelles connaissances. À l'échelle d'un système scientifique, une base de recherche plus dense peut donc augmenter le rendement d'une unité supplémentaire de financement.

Cette logique produit deux prédictions exploratoires. Premièrement, l'effet du financement peut être plus élevé dans les pays déjà capables de produire davantage de science. Deuxièmement, des objectifs identiques imposés à tous les pays peuvent être inefficaces. Les politiques doivent distinguer le financement de construction des capacités et le financement d'accélération. L'analyse quantile permet d'examiner cette hétérogénéité sans supposer un effet moyen uniforme. Elle complète les hypothèses principales, sans constituer une hypothèse préenregistrée du mémoire initial.

2. Méthodologie

2.1. Échantillons, période et sources de données

L'étude repose sur des données secondaires de panel couvrant la période 1995-2024. Le premier échantillon concerne la production scientifique dans 105 pays en développement. Le second concerne l'innovation, appréhendée par les brevets, dans un échantillon final allant jusqu'à 66 pays. Les panels sont non cylindrés. Le nombre d'observations et de pays effectivement mobilisés varie donc selon la disponibilité des variables et les spécifications.

La production scientifique est mesurée par le nombre de publications scientifiques et techniques. Les données proviennent des indicateurs Science and Engineering de la National Science Foundation. L'innovation est appréhendée par les demandes de brevets de résidents et de non-résidents, issues de l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle. Le financement est mesuré par les dépenses intérieures brutes de R&D rapportées au PIB, provenant notamment de l'Institut de statistique de l'UNESCO. Les variables macroéconomiques et institutionnelles sont complétées par les bases de la Banque mondiale.

Tableau 1 : Variables, mesures et sources principales

Variable	Mesure	Source	Rôle
Production scientifique	Nombre de publications scientifiques et techniques	Science & Engineering Indicators / NSF	Variable expliquée
Innovation - résidents	Demandes de brevets déposées par les résidents	OMPI/WIPO	Variable expliquée
Innovation - non-résidents	Demandes de brevets déposées par les non-résidents	OMPI/WIPO	Variable expliquée
Dépenses de R&D	Dépenses intérieures brutes de R&D en % du PIB	UNESCO-UIS	Variable d'intérêt
PIB par habitant	Niveau moyen de richesse par habitant	Banque mondiale - WDI	Contrôle
Internet	Accès/utilisation d'Internet	Banque mondiale - WDI	Contrôle
IDE	Investissements directs étrangers	Banque mondiale - WDI	Contrôle
Électricité	Accès à l'électricité	Banque mondiale - WDI	Contrôle
Population	Taille de la population	Banque mondiale - WDI	Contrôle

Variable	Mesure	Source	Rôle
Ressources naturelles	Rentes totales des ressources naturelles	Banque mondiale - WDI	Contrôle
Gouvernance	Corruption, efficacité, stabilité, réglementation, État de droit, voix/responsabilité	Worldwide Governance Indicators	Robustes se

Source : Bases de données institutionnelles mobilisées.

2.2. Spécification empirique

La spécification de base relie une mesure de production de connaissances au financement de la R&D et aux variables de contrôle. La forme dynamique générale peut s'écrire : $Y_{it} = \alpha Y_{i,t-1} + \beta DRD_{it} + \gamma' X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$. Y représente successivement la production scientifique, les brevets de résidents ou les brevets de non-résidents. DRD mesure l'effort de R&D. X regroupe les contrôles. Les effets μ_i captent l'hétérogénéité invariante des pays et λ_t les chocs temporels communs.

Une première estimation utilise les moindres carrés ordinaires avec effets fixes. Cette approche contrôle les caractéristiques nationales invariantes susceptibles d'être corrélées aux variables explicatives. Elle reste cependant vulnérable à la dépendance transversale, à l'autocorrélation et à l'hétéroscédasticité. Les tests diagnostiques du mémoire confirment ces risques. Le test de Pesaran rejette l'hypothèse de faible dépendance transversale. Le test de Wooldridge détecte une autocorrélation de premier ordre. Le test de Breusch-Pagan signale aussi une variance non constante.

Trois familles d'estimateurs sont donc mobilisées. Les erreurs de Driscoll-Kraay corrigent la dépendance transversale et certaines formes de corrélation sérielle. Le GLS prend en compte l'autocorrélation et l'hétéroscédasticité. Le GMM en système traite la dynamique de la variable dépendante et une partie de l'endogénéité potentielle (Arellano & Bond, 1991 ; Blundell & Bond, 1998). La validité des instruments est examinée par le test de Hansen, tandis que les tests AR(1) et AR(2) évaluent la structure des résidus.

Des estimations par variables instrumentales complètent cette stratégie. La procédure de Lewbel (2012) construit des instruments à partir de l'hétéroscédasticité lorsque des instruments externes convaincants sont difficiles à identifier. Les variantes LIML et GMM en deux étapes sont également utilisées. Enfin, les régressions quantiles évaluent l'effet de la R&D aux quantiles 15, 25, 50, 75 et 95 de la distribution de production scientifique.

2.3. Précautions d'interprétation

L'utilisation de plusieurs estimateurs ne transforme pas automatiquement les résultats en effets causaux définitifs. Elle vérifie surtout la stabilité du signe face à des sources distinctes de biais. Les coefficients diffèrent sensiblement entre MCO, GLS, GMM et variables instrumentales. Ils ne doivent donc pas être comparés comme des élasticités directement équivalentes. L'interprétation centrale porte sur la robustesse du sens de la relation, sa significativité et son hétérogénéité.

La deuxième précaution concerne les brevets de non-résidents. Ils peuvent refléter l'attractivité technologique du pays et l'activité inventive étrangère. Ils ne mesurent pas

exclusivement une capacité d'innovation domestique. Cette distinction sera conservée dans la discussion. Elle évite d'assimiler toute hausse des brevets enregistrés à un renforcement symétrique de la base technologique nationale.

3. Résultats

3.1. Financement de la R&D et production scientifique

Les estimations de base confirment H1. Dans les modèles MCO à effets fixes, le coefficient des dépenses de R&D reste positif et significatif dans les sept spécifications. Il passe de 0,418 dans le modèle le plus parcimonieux à 0,172 après ajout progressif des contrôles. Le pouvoir explicatif demeure élevé, avec un R^2 atteignant 0,941 dans les spécifications les plus complètes. Le résultat n'est donc pas porté par une seule configuration de contrôle.

La correction de la dépendance transversale confirme le résultat. Avec Driscoll-Kraay, le coefficient de R&D varie de 0,499 à 0,172 et reste significatif au seuil de 1 %. Les estimations GLS produisent également des coefficients positifs très stables, compris entre 0,491 et 0,496. Les écarts de magnitude entre méthodes invitent à ne pas surinterpréter la taille absolue. En revanche, la stabilité du signe est remarquable.

Le GMM en système conserve cette relation après introduction de la production scientifique retardée. Le coefficient de R&D reste positif et significatif dans les sept spécifications. Il varie de 0,018 à 0,233. Le terme retardé de production scientifique est lui-même élevé, généralement supérieur à 0,80. Cette persistance indique que la science se construit cumulativement. Les tests de Hansen sont acceptables dans les spécifications reportées. Les p-values AR(2) demeurent supérieures aux seuils conventionnels, ce qui renforce la crédibilité de ces modèles dynamiques.

Les stratégies instrumentales conduisent à la même conclusion. Avec l'approche de Lewbel, les coefficients de R&D sont compris entre 0,306 et 0,539 et restent significatifs. Les estimateurs IV-GMM2S et LIML produisent des coefficients allant de 0,384 à 0,487. La convergence de méthodes reposant sur des hypothèses différentes réduit le risque qu'un artefact de spécification explique seul le résultat principal.

3.2. Financement de la R&D et innovation brevetée

Les résultats confirment également H2. Avec les effets fixes, le coefficient de R&D est de 0,013 pour les brevets de résidents dans les deux principales spécifications. Pour les brevets de non-résidents, il atteint 0,025 et 0,023. Les coefficients sont significatifs aux seuils de 5 % ou 1 %. La relation positive demeure après prise en compte du PIB par habitant, d'Internet, des IDE, de l'électricité, de la population et des ressources naturelles.

Les corrections de Driscoll-Kraay et GLS confirment ce résultat. Les coefficients se situent entre 0,010 et 0,032 selon le type de brevet et l'estimateur. Le GMM en système produit des coefficients de R&D compris entre 0,153 et 0,173 pour les modèles de brevets de résidents, et entre 0,131 et 0,503 pour les modèles de non-résidents. Tous sont positifs et significatifs au seuil de 1 %.

La lecture des diagnostics appelle néanmoins une nuance. Les tests de Hansen restent acceptables dans les quatre spécifications GMM. Les tests AR(2) sont satisfaisants dans trois modèles, mais une spécification de brevets de non-résidents affiche une p-value de 0,020.

Cette fragilité justifie le recours à des estimations instrumentales complémentaires. Ces dernières confirment le résultat : les coefficients de R&D se situent entre 0,027 et 0,032 avec Lewbel, LIML, GMM et CUE.

Tableau 2 : Synthèse des effets estimés des dépenses de R&D

Résultat	Estimateur	Coefficient R&D	Sig.	Lecture
Production scientifique	MCO - effets fixes	0,172 à 0,418	***	Positif dans 7 spécifications
Production scientifique	Driscoll-Kraay	0,172 à 0,499	***	Robuste à la dépendance transversale
Production scientifique	GLS	0,491 à 0,496	***	Robuste à l'autocorrélation/hétéroscédasticité
Production scientifique	GMM en système	0,018 à 0,233	***	Positif avec dynamique et endogénéité
Production scientifique	IV-Lewbel / LIML / GMM2S	0,306 à 0,539	** / ***	Résultat robuste aux IV alternatives
Brevets résidents	MCO - effets fixes	0,013	**	Effet positif
Brevets non-résidents	MCO - effets fixes	0,023 à 0,025	***	Effet positif
Brevets résidents et non-résidents	Driscoll-Kraay / GLS	0,010 à 0,032	** / ***	Robuste aux erreurs de panel
Brevets résidents	GMM en système	0,153 à 0,173	***	Effet positif
Brevets non-résidents	GMM en système	0,131 à 0,503	***	Effet positif ; une spécification AR(2) fragile
Brevets résidents et non-résidents	IV-Lewbel / LIML / GMM / CUE	0,027 à 0,032	***	Convergence des estimateurs instrumentaux

Source : Nos estimations. *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$. Les magnitudes ne sont pas directement comparables entre estimateurs.

3.3. Le rendement du financement est fortement hétérogène

Le résultat le plus discriminant apparaît avec la régression quantile. Le coefficient de R&D augmente de façon monotone avec le niveau de production scientifique. Il est de 0,397 au 15e quantile, 0,461 au 25e, 0,512 à la médiane, 0,720 au 75e et 0,870 au 95e quantile. Tous ces coefficients sont significatifs au seuil de 1 %. Une hausse de l'effort de R&D ne semble donc pas produire un rendement identique dans tous les systèmes scientifiques.

Cette pente croissante est compatible avec un mécanisme de capacité cumulative. Les pays déjà plus productifs disposent probablement d'infrastructures, de compétences et de réseaux qui permettent d'absorber plus rapidement les ressources. Elle ne signifie pas qu'il faut concentrer le financement sur les systèmes les plus performants. Elle signale plutôt que les pays moins productifs ont besoin d'investissements complémentaires pour rendre le

financement scientifique plus productif. Une politique uniforme risque d'amplifier les écarts existants.

Tableau 3 : Hétérogénéité du coefficient de R&D selon le niveau de production scientifique

Quantile de production scientifique	Coefficient des dépenses de R&D
Q15	0,397***
Q25	0,461***
Q50	0,512***
Q75	0,720***
Q95	0,870***

Source : Nos analyses. *** $p < 0,01$.

3.4. Qualité institutionnelle et sensibilités régionales

Les spécifications intégrant les indicateurs de gouvernance enrichissent cette lecture. Le contrôle de la corruption présente un coefficient de 0,013, l'efficacité gouvernementale de 0,012, la qualité réglementaire de 0,011, l'État de droit de 0,010 et la voix et responsabilité de 0,016. Ces cinq coefficients sont significatifs au seuil de 1 %. La stabilité politique présente un coefficient positif de 0,001, mais le tableau d'estimation ne lui associe pas de significativité statistique robuste.

Le coefficient des dépenses de R&D reste significatif dans certaines spécifications institutionnelles, notamment à 0,020, 0,030 et 0,072. Il devient toutefois non significatif dans d'autres. Ce déplacement est substantiellement important. Il suggère que l'effet attribué au financement seul peut absorber une partie des capacités institutionnelles du pays. Les données ne permettent pas d'établir une interaction causale. Elles invitent néanmoins à déplacer la question du volume budgétaire vers la qualité de son environnement d'utilisation.

Les tests de sensibilité régionale montrent aussi des écarts de niveau après contrôle de la R&D et des autres variables. Les indicateurs régionaux sont négatifs pour l'Afrique subsaharienne (-0,016) et l'Europe du sous-échantillon (-0,090), positifs pour l'Amérique latine et les Caraïbes (0,028) et l'Asie (0,017), et non significatifs pour la zone MENA (-0,013). Ces coefficients ne sont pas des interactions entre région et R&D. Ils ne doivent donc pas être interprétés comme des rendements régionaux de la R&D. Ils révèlent plutôt des différences résiduelles entre ensembles géographiques.

4. Discussion

4.1. De l'effet du financement à la capacité de conversion

Le premier enseignement est net : le financement de la R&D compte. Les résultats sont cohérents avec la théorie des biens publics et la croissance endogène. Ils prolongent aussi les études montrant qu'une hausse des ressources peut accroître la production scientifique (Hu, 2020 ; Rosenbloom et al., 2015). La robustesse aux effets fixes, à Driscoll-Kraay, au GLS, au GMM et aux variables instrumentales fournit un socle empirique plus large que celui d'une spécification unique.

Le second enseignement est plus important pour la théorie. Le financement ne constitue pas une technologie de production autonome. Il agit à travers un système de conversion. Ce système comprend des compétences, des infrastructures, des règles, des réseaux et des mécanismes d'évaluation. Cette lecture rapproche l'économie de la science des systèmes d'innovation. Elle explique aussi pourquoi l'effet moyen masque des différences considérables. La politique de recherche ne doit donc pas maximiser seulement le montant des ressources. Elle doit maximiser leur capacité à produire des connaissances utiles.

La croissance monotone du coefficient de R&D entre Q15 et Q95 constitue ici un résultat central. Elle suggère que la capacité scientifique préalable augmente le rendement marginal du financement. Cette observation est compatible avec une logique d'absorption cumulative. Elle rappelle aussi l'hétérogénéité documentée par Hu (2020), bien que le sens de l'hétérogénéité dépende du contexte et du niveau d'analyse. Dans notre panel, les systèmes situés dans le haut de la distribution scientifique convertissent davantage la R&D en production mesurée.

Ce résultat révèle un risque de politique publique. Une allocation strictement proportionnelle à la performance peut renforcer les systèmes déjà puissants. Banal-Estañol et al. (2023) identifient une possibilité comparable de concentration de l'excellence dans les dispositifs fondés sur la performance. Inversement, une distribution uniforme peut ignorer les besoins de construction de capacités. Un design plus équilibré devrait associer un socle de capacité, des financements compétitifs et des mécanismes de coopération entre institutions de niveaux différents.

4.2. Une contribution institutionnelle sans surinterprétation causale

Les résultats institutionnels soutiennent une deuxième contribution. Plusieurs dimensions de gouvernance sont positivement associées à la production scientifique. La réduction de la corruption peut améliorer la traçabilité des budgets. L'efficacité gouvernementale facilite l'exécution des programmes. La qualité réglementaire et l'État de droit sécurisent les partenariats. La voix et responsabilité renforcent les mécanismes de contrôle. Cette lecture rejoint les résultats de Castellacci et al. (2022) sur l'investissement en R&D dans les économies en développement.

Il serait toutefois excessif de conclure que les institutions modèrent statistiquement l'effet de la R&D. Les modèles disponibles ne testent pas de terme d'interaction. Cette distinction est essentielle pour un article exigeant. Les résultats montrent une complémentarité empirique de niveau, pas un mécanisme de modération identifié. Une prochaine étape devra estimer explicitement $DRD \times$ qualité institutionnelle, puis tester les effets marginaux selon plusieurs niveaux de gouvernance.

4.3. Publications, brevets et nature différente de la connaissance

L'article contribue aussi en combinant deux formes de connaissances. La publication scientifique traduit une connaissance ouverte, validée et diffusée. Le brevet protège une connaissance technologique appropriable. Le financement de la R&D est positivement lié aux deux. Cette convergence suggère que l'effort scientifique peut soutenir simultanément la création de savoirs publics et la valorisation technologique. Elle rapproche les modèles de production scientifique des modèles d'innovation.

La distinction entre brevets de résidents et de non-résidents évite néanmoins une lecture trop homogène. Un brevet de résident est davantage lié à la base inventive domestique. Un brevet de non-résident peut traduire l'attractivité du marché national pour des innovateurs étrangers. Son augmentation peut être favorable au transfert technologique sans prouver une capacité locale équivalente. Les politiques doivent donc suivre conjointement brevets de résidents, copropriétés internationales, licences, créations d'entreprises et diffusion technologique.

4.4. Implications managériales et institutionnelles

Pour les gouvernements, la première implication consiste à protéger la prévisibilité du financement. Les projets scientifiques exigent des horizons plus longs que les cycles budgétaires annuels. Des enveloppes pluriannuelles permettent de recruter, d'entretenir les équipements et de stabiliser les partenariats. Elles devraient être articulées à des priorités nationales explicites. La santé, l'agriculture, l'énergie, le numérique et les infrastructures offrent notamment des domaines où la recherche peut produire des externalités sociales élevées.

La deuxième implication concerne l'architecture d'allocation. Un système exclusivement compétitif peut pénaliser les équipes moins établies et les projets risqués (Wang et al., 2018). Un système exclusivement récurrent peut réduire les incitations à la performance. Une combinaison est préférable : financement socle pour les capacités critiques, appels compétitifs pour les projets, et fonds stratégiques pour les priorités nationales. Les critères d'évaluation doivent reconnaître la qualité, l'impact local et la collaboration, pas seulement le volume de publications.

La troisième implication concerne la gouvernance des universités et organismes de recherche. Chaque institution devrait disposer d'une fonction professionnelle de gestion de la recherche. Cette fonction peut suivre les appels, les contrats, les dépenses, les données et la propriété intellectuelle. Elle peut également soutenir les équipes dans le montage de consortiums. Ryazanova et Jaskiene (2022) rappellent que la productivité dépend aussi de facteurs organisationnels gérables. Le financement doit donc s'accompagner de pratiques managériales adaptées.

La quatrième implication porte sur les interfaces de valorisation. Les résultats plaident pour des bureaux de transfert technologique, des incubateurs, des plateformes partagées et des contrats de recherche collaboratifs. La logique de Triple Helix devient ici opérationnelle. L'université produit et diffuse les connaissances. L'entreprise contribue aux problèmes, aux ressources et à l'industrialisation. L'État construit les règles, finance les biens publics et réduit les risques de coordination.

Enfin, l'hétérogénéité quantile appelle une politique différenciée. Les systèmes à faible production scientifique ont besoin d'investissements de capacité : laboratoires, connectivité, doctorats, bibliothèques, données et administration scientifique. Les systèmes intermédiaires peuvent privilégier la consolidation des réseaux et la spécialisation. Les systèmes déjà productifs peuvent recevoir davantage de financements orientés vers la frontière technologique. La performance doit ainsi être comparée à des objectifs adaptés au niveau initial de capacité.

4.5. Limites et agenda de recherche

Cette étude présente cinq limites principales. Premièrement, les panels sont non cylindrés et la disponibilité des données varie entre pays. Deuxièmement, les publications sont comptées sans pondération systématique par citations ou qualité des revues. Troisièmement, les brevets ne captent ni les innovations non brevetées ni les innovations organisationnelles. Quatrièmement, les dépenses de R&D agrègent plusieurs sources, secteurs et mécanismes de financement. Cinquièmement, les indicateurs institutionnels sont ajoutés au modèle sans termes d'interaction explicites.

Ces limites ouvrent un agenda précis. Les travaux futurs devraient distinguer financement public, privé, international et compétitif. Ils devraient mesurer la stabilité pluriannuelle du financement, pas seulement son niveau. Des indicateurs de qualité scientifique, de citations, de collaboration et d'impact sociétal pourraient compléter le nombre d'articles. Pour l'innovation, les brevets devraient être pondérés par citations, familles internationales ou valeur technologique. Des modèles de seuil pourraient aussi tester l'existence d'un niveau minimal de capacité avant lequel les rendements de R&D restent faibles.

Une extension particulièrement importante consisterait à estimer des interactions entre dépenses de R&D et gouvernance. Elle permettrait d'identifier les conditions institutionnelles sous lesquelles le financement devient plus productif. Une seconde extension pourrait isoler l'Afrique subsaharienne et comparer les systèmes nationaux d'innovation. Enfin, des données de subventions et de chercheurs permettraient de passer du niveau macroéconomique aux mécanismes micro-organisationnels qui produisent les résultats observés.

Conclusion

Cet article examine la relation entre financement de la recherche, production scientifique et innovation dans les pays en développement. Les résultats convergent vers une conclusion robuste : les dépenses de R&D sont positivement associées aux publications scientifiques et aux brevets. Cette relation résiste aux effets fixes, à Driscoll-Kraay, au GLS, au GMM en système et à plusieurs approches instrumentales. Les hypothèses H1 et H2 sont donc soutenues par les estimations disponibles.

L'apport principal va toutefois au-delà de ce constat. Le rendement du financement varie fortement selon le niveau de production scientifique. Il progresse de 0,397 au 15^e quantile à 0,870 au 95^e quantile. Plusieurs dimensions de gouvernance sont également positivement associées à la performance scientifique. Ces résultats déplacent la question de politique publique. Le défi n'est pas seulement d'augmenter les budgets. Il consiste à construire les capacités permettant de transformer ces budgets en connaissances.

La recommandation centrale peut ainsi être formulée simplement : financer davantage, mais surtout financer mieux. Les pays en développement gagneraient à combiner ressources pluriannuelles, infrastructures, capital humain, gouvernance crédible et interfaces université-industrie-État. Les mécanismes d'allocation devraient aussi tenir compte des capacités initiales. Une politique uniforme risque de reproduire les inégalités scientifiques. Une politique différenciée peut transformer le financement en apprentissage, puis l'apprentissage en innovation et en développement.

Références bibliographiques

- Aghion, P., & Howitt, P. (1992). *A model of growth through creative destruction*. *Econometrica*, 60(2), 323-351.
- Arellano, M., & Bond, S. (1991). Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *Review of Economic Studies*, 58(2), 277-297.
- Arrow, K. J. (1962). Economic welfare and the allocation of resources for invention. In *The rate and direction of inventive activity: Economic and social factors* (pp. 609-626). Princeton University Press.
- Auranen, O., & Nieminen, M. (2010). University research funding and publication performance: An international comparison. *Research Policy*, 39(6), 822-834.
- Banal-Estañol, A., Jofre-Bonet, M., Iori, G., Maynou, L., Tumminello, M., & Vassallo, P. (2023). Performance-based research funding: Evidence from the largest natural experiment worldwide. *Research Policy*, 52(6), 104780.
- Blundell, R., & Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, 87(1), 115-143.
- Castellacci, F., Oguguo, P. C., & Bodas Freitas, I. M. (2022). Quality of pro-market national institutions and firms' decision to invest in R&D: Evidence from developing and transition economies. *Eurasian Business Review*, 12, 35-57.
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128-152.
- Driscoll, J. C., & Kraay, A. C. (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. *Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549-560.
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: From national systems and Mode 2 to a Triple Helix of university-industry-government relations. *Research Policy*, 29(2), 109-123.
- Freeman, C. (1995). *The national system of innovation in historical perspective*. Cambridge Journal of Economics, 19(1), 5-24.
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., & Trow, M. (1994). *The new production of knowledge: The dynamics of science and research in contemporary societies*. Sage.
- Griliches, Z. (1979). Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth. *Bell Journal of Economics*, 10(1), 92-116.
- Hall, B. H. (2002). *The financing of research and development*. Oxford Review of Economic Policy, 18(1), 35-51.
- Hu, A. G. Z. (2020). Public funding and the ascent of Chinese science: Evidence from the National Natural Science Foundation of China. *Research Policy*, 49(5), 103983.
- Lewbel, A. (2012). Using heteroscedasticity to identify and estimate mismeasured and endogenous regressor models. *Journal of Business & Economic Statistics*, 30(1), 67-80.
- Lucas, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3-42.
- Lundvall, B.-Å. (1992). *National systems of innovation: Towards a theory of innovation and interactive learning*. Pinter.
- Meo, S. A., & Usmani, A. M. (2014). Impact of R&D expenditures on research publications, patents and high-tech exports among European countries. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 18(1), 1-9.
- Nelson, R. R. (1993). *National innovation systems: A comparative analysis*. Oxford University Press.
- Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5), S71-S102.

-
- Rosenbloom, J. L., Ginther, D. K., Juhl, T., & Heppert, J. A. (2015). The effects of research & development funding on scientific productivity: *Academic chemistry*, 1990-2009. PLOS ONE, 10(9), e0138176.
- Ryazanova, O., & Jaskiene, J. (2022). Managing individual research productivity in academic organizations: A review of the evidence and a path forward. *Research Policy*, 51(2), 104448.
- Samuelson, P. A. (1954). The pure theory of public expenditure. *Review of Economics and Statistics*, 36(4), 387-389.
- Wang, J., Lee, Y.-N., & Walsh, J. P. (2018). Funding model and creativity in science: Competitive versus block funding and status contingency effects. *Research Policy*, 47(6), 1070-1083.
- World Bank. (2022). *Research and development expenditure (% of GDP)*. World Development Indicators.