

Stratégies d'optimisation des investissements en R&D dans les start-ups deep-tech : une lecture quadridimensionnelle

R&D Investment Optimization Strategies in Deep-Tech Start-ups: A Four-Dimensional Reading

Hasnaa NACIRI, (Doctorante - chercheuse)

*École Nationale de Commerce et de Gestion d'Agadir
Université Ibn Zohr d'Agadir, Maroc*

Kaoutar ROUSSI, (Enseignante - chercheuse)

Université Abdelmalek Essaâdi, FP Larache

Adresse de correspondance :	École Nationale de Commerce et de Gestion Agadir Université Ibn Zohr (Agadir) Code postal : B.P 37/S Hay Salam Agadir Téléphone : +212 528225748 / +212 528225749
Déclaration de divulgation :	Les auteurs n'ont pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude. Ils assument l'entière responsabilité de tout éventuel plagiat, de l'usage de l'intelligence artificielle dans la rédaction, ainsi que des résultats présentés dans cet article.
Conflit d'intérêts :	Les auteurs ne signalent aucun conflit d'intérêts.
Citer cet article	NACIRI, H., & ROUSSI, K. (2026). Stratégies d'optimisation des investissements en R&D dans les start-ups deep-tech : une lecture quadridimensionnelle. <i>International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics</i> , 7(10), 82–108. https://doi.org/10.5281/zenodo.21738529
Licence	Cet article est publié en open Access sous licence CC BY-NC-ND

Received: 09/07/2026

Accepted: 16/08/2026

International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics - IJAFAME

ISSN: 2658-8455

Volume 7, Issue 10 (2026)

Stratégies d'optimisation des investissements en R&D dans les start-ups deep-tech : une lecture quadridimensionnelle

Résumé :

L'optimisation des investissements en recherche et développement (R&D) constitue un défi stratégique central pour les start-ups deep-tech, catégorie d'entreprises innovantes caractérisées par une intensité capitalistique élevée, des cycles de développement longs et une exposition à une incertitude technologique de nature radicale. Si la littérature existante a progressivement enrichi notre compréhension de ce phénomène, elle l'a fait de manière fragmentée, en traitant séparément les dimensions organisationnelles, financières, environnementales et technologiques sans en proposer une lecture intégrée.

Le présent article vise à combler cette lacune en construisant un cadre conceptuel quadridimensionnel qui articule ces quatre catégories de déterminants autour de la problématique de l'optimisation des investissements en R&D. La démarche adoptée repose sur une revue de littérature structurée et critique, mobilisant principalement les bases de données Scopus, Web of Science et Google Scholar, complétées par l'examen des références des travaux retenus.

Sur le plan théorique, l'article mobilise la théorie des parties prenantes (Freeman, 1984), les travaux fondateurs sur l'incertitude décisionnelle (Knight, 1921 ; Loch et al., 2006), l'approche par options réelles (Dixit & Pindyck, 1994), la théorie des capacités d'absorption (Cohen & Levinthal, 1990) et les développements récents sur les financements hybrides (Mukherjee et al., 2024). L'analyse de la littérature suggère que ces quatre dimensions ne s'additionnent pas mécaniquement, mais peuvent se conditionner mutuellement à travers plusieurs mécanismes d'interaction. Il formule quatre propositions de recherche à vocation théorique, non soumises à validation empirique dans le cadre du présent travail et destinées à orienter des investigations ultérieures sur le terrain. L'article conclut en soulignant les enjeux spécifiques des économies émergentes, où les contraintes se cumulent plus qu'elles ne se compensent. Cette contribution présente toutefois une limite inhérente à sa démarche : le corpus mobilisé est majoritairement issu d'économies développées, ce qui implique que la transférabilité des propositions au contexte des économies émergentes devra être vérifiée empiriquement.

Mots clés : R&D, start-ups deep-tech, optimisation des investissements, incertitude radicale, financement hybride.

JEL Classification : O32 · O31 · G24 · L26 · O16

Type du papier : Recherche théorique

Abstract :

The optimization of research and development (R&D) investments constitutes a central strategic challenge for deep-tech start-ups, a category of innovative firms characterized by high capital intensity, long development cycles, and exposure to radical technological uncertainty. While the existing literature has progressively enriched our understanding of this phenomenon, it has done so in a fragmented manner, treating the organizational, financial, environmental, and technological dimensions separately without proposing an integrated reading.

This article aims to bridge this gap by constructing a four-dimensional conceptual framework that articulates these four categories of determinants around the core problem of R&D investment optimization. The approach taken is based on a structured and critical literature review, mainly using the Scopus, Web of Science, and Google Scholar databases, complemented by checking the references of the selected works.

Theoretically, the article draws on stakeholder theory (Freeman, 1984), foundational work on decision-making under uncertainty (Knight, 1921; Loch et al., 2006), the real options approach (Dixit & Pindyck, 1994), absorptive capacity theory (Cohen & Levinthal, 1990), and recent developments on hybrid financing mechanisms (Mukherjee, A., Owen, R., Scott, J. M., & Lyon, F. (2024)). The analysis of the literature suggests that these four dimensions do not combine mechanically but may condition one another through several interaction mechanisms. It formulates four research propositions of a theoretical nature, not subjected to empirical validation within the scope of the present work and intended to guide subsequent field investigations. The article concludes by highlighting the specific challenges of emerging economies, where constraints accumulate rather than compensate for one another. This contribution is, however, subject to an inherent limitation: the corpus mobilized is predominantly drawn from developed economies, which implies that the transferability of the propositions to emerging economy contexts will need to be verified empirically.

Keywords: R&D, deep-tech start-ups, investment optimization, radical uncertainty, hybrid financing.

Classification JEL: O32 · O31 · G24 · L26 · O16

Paper type: Theoretical Research

1. Introduction

Pourquoi certaines entreprises parviennent-elles à tirer une valeur durable de leurs investissements en R&D là où d'autres, pourtant bien dotées en ressources, n'en retirent que des résultats décevants ? Cette question, apparemment simple, est au fond l'une des plus difficiles que la littérature en management de l'innovation ait tenté de résoudre. La réponse ne tient jamais à un facteur isolé - un niveau de dépenses suffisant, une technologie suffisamment avancée, un écosystème suffisamment dense - mais à une configuration de conditions qui interagissent d'une manière souvent imprévisible. C'est cette configuration que le présent article cherche à formaliser en proposant une lecture intégrée des déterminants de l'optimisation des investissements en R&D.

La question est d'autant plus aiguë pour les start-ups deep-tech, segment d'entreprises innovantes dont les activités reposent sur des avancées scientifiques récentes et nécessitent des cycles de développement particulièrement longs avant toute perspective de commercialisation (De la Tour et al., 2017). Ces entreprises cumulent des contraintes qui n'affectent que rarement les start-ups numériques classiques : une intensité capitalistique très élevée pouvant atteindre plusieurs dizaines de millions d'euros avant toute commercialisation, une dépendance structurelle à des écosystèmes d'innovation denses, et une exposition à une incertitude technologique de nature radicale au sens de (Knight, 1921), c'est-à-dire à une incertitude fondamentalement non probabilisable qui rend inopérantes les méthodes classiques d'évaluation fondées sur l'actualisation de flux futurs. Dans ce contexte, optimiser les investissements en R&D suppose une compréhension fine et intégrée des mécanismes qui conditionnent l'efficacité de chaque euro investi.

La littérature académique a produit des contributions riches sur ce sujet, mais de manière cloisonnée. La littérature mobilisée met ainsi en évidence une fragmentation des approches, les différentes dimensions du phénomène étant généralement étudiées de manière relativement séparée.

Cette fragmentation constitue la lacune principale que le présent article cherche à combler. La démarche adoptée pour y répondre repose sur une revue de littérature. Celle-ci s'appuie principalement sur les bases de données Scopus, Web of Science et Google Scholar. Les recherches bibliographiques ont été orientées par plusieurs combinaisons de mots-clés portant notamment sur les investissements en R&D, les start-ups deep-tech, l'incertitude, la stratégie d'innovation et les mécanismes de financement. Les références des travaux retenus ont également été examinées afin d'identifier des contributions théoriques et empiriques complémentaires. La question de recherche qui guide notre réflexion est la suivante : quels sont les déterminants de l'optimisation des investissements en R&D dans les start-ups deep-tech, et comment s'articulent-ils entre eux ? Pour y répondre, nous proposons un cadre conceptuel quadridimensionnel structuré autour des dimensions organisationnelle, financière, environnementale et technologique, dont l'analyse de la littérature suggère qu'elles sont susceptibles d'exercer des effets croisés et de présenter des interdépendances dans la détermination de l'efficacité des investissements. Ce cadre permet de dépasser les lectures sectorielles et de rendre compte de la complexité configurationnelle qui caractérise l'optimisation des investissements en R&D dans des contextes d'incertitude radicale.

La pertinence de cette question est renforcée par les spécificités des économies émergentes, et du Maroc en particulier, contexte d'ancrage institutionnel des auteurs du présent article. Le Maroc constitue à cet égard un terrain d'observation privilégié : avec une dépense intérieure brute de R&D inférieure à 1 % du PIB, un écosystème de capital-risque spécialisé encore embryonnaire et des mécanismes publics de soutien à l'innovation en cours de structuration - Fonds Mohammed VI pour l'Investissement, programme Innov Invest Fund, dispositifs CCG - il illustre de manière paradigmatique les configurations dans lesquelles les contraintes pesant

sur les start-ups deep-tech se cumulent plus qu'elles ne se compensent (Autio et al., 2014). Si le cadre conceptuel proposé est conçu avec une portée analytique générale, ses implications sont systématiquement discutées au regard de ce contexte émergent, dont les spécificités sont explicitement intégrées dans les propositions de recherche formulées en conclusion.

L'article est organisé en neuf sections. La section 2 présente le positionnement épistémologique et la stratégie de revue de littérature adoptée. La section 3 précise le périmètre de la R&D et les spécificités des investissements des start-ups deep-tech. La section 4 examine les différentes formes d'incertitude auxquelles ces entreprises sont confrontées. La section 5 analyse le rôle des parties prenantes et des mécanismes de gouvernance. La section 6 examine les logiques décisionnelles et les outils de pilotage des investissements en R&D. La section 7 synthétise les quatre dimensions du cadre conceptuel et analyse leurs principales interdépendances. La section 8 formule les propositions de recherche et en discute les implications théoriques. Enfin, la section 9 présente les principales conclusions, limites et perspectives de recherche.

2. Méthodologie de la recherche

2.1. Positionnement épistémologique

Le présent article s'inscrit dans une démarche de recherche théorique et conceptuelle visant à construire un cadre analytique intégré permettant de rendre compte de la complexité configurationnelle des investissements en R&D dans les start-ups deep-tech. Cette démarche repose sur une lecture critique et croisée de la littérature, destinée à mettre en relation des contributions théoriques issues de plusieurs courants du management de l'innovation, de la finance et de l'entrepreneuriat. Dans le champ de la gestion de l'innovation, la recherche conceptuelle occupe une place légitime et reconnue, à condition qu'elle réponde à des exigences méthodologiques explicites. Whetten (1989) a formalisé ces exigences en distinguant quatre composantes d'une contribution théorique valide : l'identification des construits (« quoi »), la spécification des relations entre ces construits (« comment »), la justification de la logique causale qui les relie (« pourquoi »), et la délimitation du domaine de validité des propositions (« qui, où, quand »). Le présent article s'efforce de satisfaire à ces quatre critères : les quatre dimensions du cadre quadridimensionnel constituent les construits ; les mécanismes d'interaction formalisés dans le tableau 8 spécifient les relations ; la mobilisation de la théorie des parties prenantes, de la théorie des options réelles et de la capacité d'absorption justifie la logique causale ; et les propositions de recherche délimitent explicitement leur champ d'application, en les centrant sur les start-ups deep-tech des économies émergentes.

2.2. Stratégie de revue de la littérature

La construction du cadre conceptuel de cette recherche s'appuie sur une revue de littérature structurée et critique consacrée aux déterminants de l'optimisation des investissements en recherche et développement (R&D), avec une attention particulière portée aux entreprises innovantes et aux start-ups deep-tech. Contrairement à une revue systématique, qui repose sur un protocole formalisé de recherche, de sélection et d'évaluation des publications, la démarche adoptée dans cette étude vise principalement à identifier, mobiliser et mettre en perspective les contributions théoriques et empiriques les plus pertinentes pour répondre à la problématique de recherche.

La revue de littérature a été menée en trois principales étapes : l'identification des travaux pertinents, leur analyse critique et la synthèse des principaux enseignements permettant de construire le cadre conceptuel de la recherche.

Première étape : Identification des travaux pertinents. La recherche bibliographique a été réalisée principalement à partir des bases de données académiques Scopus, Web of Science et Google Scholar. Ces sources ont été complétées, lorsque cela était nécessaire, par l'examen des

références citées dans les publications retenues, selon une démarche de recherche par « boule de neige ». Les recherches ont porté sur plusieurs combinaisons de mots-clés, en anglais et en français, afin de couvrir les principaux concepts associés à la problématique étudiée. Parmi les termes utilisés figurent notamment : “deep-tech”, “deep technology”, “hard tech”, “R&D investment”, “research and development”, “innovation investment”, “optimization”, “strategy”, “performance” et “uncertainty”.

Des recherches complémentaires ont également été effectuées autour de concepts théoriques directement liés au sujet, notamment “real options”, “absorptive capacity”, “stakeholder theory”, “hybrid financing” et “innovation in emerging economies”. La période de recherche s’étend principalement de 1980 à 2024, tout en intégrant certains travaux antérieurs considérés comme fondateurs pour les concepts mobilisés dans cette recherche, notamment les travaux de Knight (1921), Freeman (1984) et Cohen et Levinthal (1990).

Deuxième étape : analyse et lecture critique de la littérature. Les publications identifiées ont été examinées en fonction de leur pertinence par rapport à la problématique de recherche et de leur capacité à contribuer à la compréhension des mécanismes liés à l’investissement en R&D, à son financement, à son pilotage et à ses effets sur la performance des entreprises innovantes. L’analyse a porté sur différentes catégories de travaux : les contributions théoriques permettant de définir et de conceptualiser les principaux construits de la recherche, les études empiriques analysant les relations entre investissement en R&D, financement, innovation et performance, ainsi que les travaux consacrés aux spécificités des entreprises technologiques et des environnements caractérisés par une forte incertitude.

Une attention particulière a été accordée aux travaux portant sur les start-ups deep-tech, compte tenu de leurs caractéristiques spécifiques : intensité technologique, cycles de développement relativement longs, besoins importants en financement, incertitude technologique et commerciale et nécessité de mobiliser différentes sources de ressources. Lorsque la littérature spécifiquement consacrée aux start-ups deep-tech s’est révélée limitée sur certaines dimensions, des travaux portant plus largement sur les entreprises innovantes, les start-ups technologiques et les économies émergentes ont également été mobilisés afin d’enrichir l’analyse.

Troisième étape : Synthèse et construction du cadre conceptuel. La revue de littérature a ensuite permis de mettre en évidence les principaux déterminants susceptibles d’influencer l’optimisation des investissements en R&D. Les contributions identifiées ont été regroupées autour de plusieurs dimensions complémentaires du cadre conceptuel, notamment les dimensions organisationnelle, financière, environnementale et technologique.

Cette synthèse ne consiste pas en une simple juxtaposition des résultats de la littérature. Elle vise à mettre en relation les différentes contributions théoriques et empiriques, à identifier leurs convergences et leurs divergences et à faire ressortir les mécanismes susceptibles d’expliquer les décisions d’investissement en R&D et leurs effets sur la performance des entreprises innovantes.

La construction du cadre conceptuel s’est ainsi appuyée sur une lecture progressive de la littérature, permettant de retenir les concepts et relations les plus pertinents au regard de la problématique de recherche. Cette démarche a également permis d’identifier certaines limites de la littérature existante et de faire ressortir les éléments justifiant l’intérêt d’étudier l’optimisation des investissements en R&D dans le contexte particulier des entreprises innovantes et des start-ups deep-tech.

Tableau 1 : Synthèse de la stratégie de revue de littérature

Critère	Spécification	Justification méthodologique
Type de revue	Revue de littérature structurée et critique	Permet d'identifier et de mettre en perspective les principales contributions théoriques et empiriques relatives à la problématique
Bases de données	Scopus, Web of Science, Google Scholar, complétées par la recherche dans les références des publications retenues	Diversifier les sources académiques et identifier les travaux pertinents pour les différents concepts étudiés
Période couverte	Période couverte : principalement 1980–2024, avec mobilisation ponctuelle de travaux fondateurs antérieurs lorsque leur contribution théorique demeure structurante.	Articuler les fondements théoriques avec les développements récents de la littérature
Mots-clés	<i>Deep-tech, R&D investment, innovation investment, optimization, performance, uncertainty, hybrid financing, absorptive capacity, etc.</i>	Couvrir les principaux concepts liés à l'investissement en R&D, à l'innovation, au financement et à la performance
Sélection des travaux	Publications présentant une pertinence théorique ou empirique directe avec la problématique	Privilégier les travaux apportant une contribution utile à la compréhension du phénomène étudié
Domaines couverts	Management de l'innovation, finance de l'innovation, management stratégique, entrepreneuriat et économie de l'innovation	Assurer une approche multidimensionnelle de l'optimisation des investissements en R&D
Méthode d'analyse	Lecture, comparaison et analyse critique des contributions théoriques et empiriques	Identifier les convergences, divergences, limites et complémentarités entre les travaux
Organisation de la littérature	Dimensions organisationnelle, financière, environnementale et technologique	Structurer la littérature en cohérence avec le cadre conceptuel de la recherche
Construction du cadre conceptuel	Synthèse des principaux concepts et relations identifiés dans la littérature	Faire émerger les variables et relations pertinentes pour répondre à la problématique de recherche
Volume de la littérature mobilisée	Plus de 50 références mobilisées dans le corps de l'article	Fournir une base bibliographique suffisamment diversifiée pour étayer le cadre conceptuel

Source : Auteurs.

2.3. Rigueur de la démarche et limites méthodologiques

La rigueur et la cohérence du cadre conceptuel proposé reposent sur la cohérence entre les fondements théoriques mobilisés, les mécanismes d'interaction identifiés et les propositions de recherche formulées. Trois précautions ont été prises pour renforcer cette cohérence. Premièrement, les propositions de recherche sont mises en relation avec les fondements théoriques et les contributions empiriques les plus directement pertinentes pour les mécanismes considérés. Deuxièmement, les tableaux de synthèse et le tableau des propositions permettent de retracer la chaîne logique reliant les déterminants identifiés aux mécanismes d'interaction et aux propositions de recherche, rendant le raisonnement théorique explicite et critiquable. Troisièmement, les limites des théories mobilisées sont explicitement discutées dans le corps du texte, prévenant une utilisation acritique de cadres théoriques dont le domaine de validité peut être contesté.

La portée des propositions formulées est volontairement circonscrite aux start-ups deep-tech, avec une attention particulière portée aux économies émergentes. Cette délimitation reconnaît que les mécanismes identifiés peuvent dépendre des caractéristiques institutionnelles, financières, organisationnelles et technologiques propres à ces contextes. Les propositions ne sont donc pas présentées comme universelles et leur transférabilité à d'autres catégories d'entreprises ou à des économies développées devra faire l'objet d'une vérification empirique.

2.4. Justification du choix de la recherche théorique

Le choix d'une démarche théorique plutôt qu'empirique pour ce premier travail est délibéré et scientifiquement justifié. Comme le soulignent (Sutton & Staw, 1995), les contributions théoriques ne sont pas inférieures aux contributions empiriques elles en constituent souvent le préalable indispensable. La fragmentation de la littérature sur les déterminants de l'optimisation des investissements en R&D dans les start-ups deep-tech des économies émergentes est telle qu'une cartographie théorique intégrée est nécessaire avant de pouvoir concevoir des dispositifs empiriques pertinents. Construire un cadre conceptuel rigoureux, c'est précisément définir les variables, les relations et les mécanismes qui devront être mesurés, observés ou testés dans les phases empiriques ultérieures.

Par ailleurs, la nature de l'objet étudié, à savoir des processus d'investissement complexes, longitudinaux et souvent confidentiels dans des entreprises à des stades de développement très précoces, rend difficile toute collecte de données primaires à grande échelle à ce stade de la recherche. Les études empiriques disponibles sur les start-ups deep-tech dans les économies émergentes peuvent également être confrontées à des difficultés de sélection des échantillons et à des problèmes de mesure, notamment lorsqu'il s'agit d'appréhender l'incertitude radicale, les capacités d'absorption ou la diversité des montages financiers. Le choix d'une démarche théorique rigoureuse constitue donc, dans ce contexte, la stratégie de recherche la plus à même de produire une contribution scientifique valide et utile à ce stade du développement de ce champ de recherche.

3. La R&D comme objet de gestion : périmètre, spécificités et évolutions

3.1. La définition internationale et ses implications analytiques

La notion de R&D s'est progressivement institutionnalisée au cours du XXe siècle, passant de laboratoires artisanaux à des fonctions stratégiques structurées au sein des grandes entreprises industrielles (Mowery, 2009). Cette évolution a conduit à la distinction classique entre recherche fondamentale, recherche appliquée et développement expérimental, codifiée par le Manuel de Frascati (OCDE, 2016). « Pour les start-ups deep-tech, cette trajectoire historique est moins pertinente que l'identification de ce qui distingue structurellement leurs investissements en R&D de ceux des grandes entreprises : l'impossibilité de séparer clairement ces trois catégories dans des projets où la découverte fondamentale et l'objectif applicatif sont co-produits dès l'origine (Laredo, 2007).

Cette porosité a une implication directe pour la mesure des investissements en R&D des start-ups deep-tech : une part significative de leurs dépenses peut échapper aux catégories statistiques standard dès lors qu'elle combine, au sein d'une même équipe et d'un même cycle de développement, des activités de nature différente au sens de la définition de Frascati. Il peut en résulter une sous-estimation de l'effort réel de R&D dans certaines statistiques officielles, ce qui invite à interpréter avec prudence toute comparaison chiffrée fondée exclusivement sur ces catégories.

C'est précisément cette porosité des frontières qui justifie un cadre d'analyse quadridimensionnel intégré plutôt qu'une approche sectorielle. »

3.2. Emergence et institutionnalisation de la notion de R&D

La notion de R&D est le fruit d'une construction historique relativement récente. Avant la Seconde Guerre mondiale, recherche scientifique et développement technologique étaient menés de manière séparée, dans des cadres institutionnels distincts (Mowery & Rosenberg, 1989). L'institutionnalisation s'est opérée progressivement à partir des années 1950, sous l'impulsion de plusieurs facteurs convergents. Les efforts massifs de recherche militaire pendant

la Seconde Guerre mondiale - radar, bombe atomique, cryptographie - ont démontré l'efficacité d'une organisation structurée de la recherche et de son financement public (Galison & Hevly, 1992). La rivalité technologique de la Guerre froide a conduit à des investissements sans précédent dans la recherche spatiale, électronique et nucléaire (Mowery, 2009). L'émergence de nouvelles industries - chimie, pharmacie, électronique, aéronautique - a conduit à la création de laboratoires de recherche interne emblématiques comme Bell Labs ou IBM Research (Hounshell, 1996). C'est dans ce contexte que le Manuel de Frascati a joué un rôle déterminant en fournissant un cadre méthodologique commun permettant la comparabilité internationale des données (Godin, 2002).

3.3. Les start-ups deep-tech : un profil singulier qui justifie des approches spécifiques

Les start-ups deep-tech constituent une catégorie d'entreprises innovantes irréductible aux typologies classiques. Elles se distinguent des start-ups numériques et des grandes entreprises par plusieurs caractéristiques structurelles, synthétisées dans la figure ci-dessous, qui conditionnent l'ensemble de leurs stratégies d'investissement en R&D (De la Tour et al., 2017; Portincaso et al., 2019).

Figure 1 : Profil comparatif des trois types d'organisations innovantes en matière de R&D

	 Deep-tech	 Numérique	 Grande entreprise
 Intensité capitalistique	● ● ● ● ● Très élevée	● ● Faible à modérée	● ● ● Variable
 Cycle de développement	5 à 10 ans	1 à 3 ans	Continu
 Incertitude technologique	Radicale, non probabilisable	Faible	Modérée
 Sources de financement	Hybrides (public/privé)	Principalement privées	Autofinancement dominant
 Dépendance écosystémique	Très forte	Modérée	Faible
 Propriété intellectuelle	Essentielle, coûteuse	Moins critique	Importante
 Taux d'échec estimé	90-95 %	70-80 %	Modéré
 Impact potentiel	Rupture technologique majeure	Incrémental	Variable


 **Capital patient**
 **Financement hybride public-privé**
 **Gestion active de la propriété intellectuelle**
 **Coopération avec l'écosystème d'innovation**
 **Diversification du risque**

Source : Auteurs

L'intensité capitalistique très élevée est l'une des contraintes les plus structurantes. Contrairement aux start-ups numériques, les deep-tech exigent des capitaux conséquents pour la validation des concepts, la réalisation de prototypes et les phases de test, avec des montants pouvant atteindre plusieurs dizaines de millions d'euros avant toute commercialisation (Bessière & Stéphany, 2014; Cumming & Johan, 2013). Cette intensité se manifeste à travers les coûts d'équipement de laboratoire, les salaires des équipes hautement qualifiées et les coûts de protection de la propriété intellectuelle, souvent sous-estimés dans les plans d'affaires initiaux.

Ces ordres de grandeur, issus principalement d'écosystèmes matures (États-Unis, Europe de l'Ouest), doivent être interprétés avec prudence pour les économies émergentes : les montants absolus y sont généralement inférieurs, mais la rareté des financeurs spécialisés peut rendre leur mobilisation relativement plus contraignante qu'ailleurs (Bessière & Stéphanie, 2014).

Les cycles de développement longs, s'étendant fréquemment sur cinq à dix ans, impliquent un décalage temporel majeur entre investissement et retour sur investissement. Ce décalage constitue l'une des principales sources de défaillance des marchés privés de capitaux à l'égard de ces entreprises : les fonds de venture capital, dont les horizons de sortie sont généralement compris entre cinq et dix ans, se trouvent souvent dans l'impossibilité de financer des technologies dont la maturation peut excéder cette durée (Ferrary, M., & Granovetter, M. (2009)). Il en résulte une dépendance structurelle aux financements publics dans les phases amont, qui constitue l'une des caractéristiques les plus distinctives de ces entreprises.

Le taux d'échec structurellement élevé estimé entre 90 et 95 % souligne la nécessité d'approches spécifiquement adaptées à ce profil de risque. Ce taux ne reflète pas des défaillances managériales mais la nature même de la recherche de rupture, qui implique d'explorer des voies dont la plupart s'avèrent sans issue. C'est précisément cette réalité qui justifie des approches de type sélectionniste, consistant à tester plusieurs voies en parallèle pour augmenter les chances qu'au moins l'une d'entre elles aboutisse (Loch et al., 2006).

Ce taux, généralement établi à partir de cohortes nord-américaines et européennes, n'a pas fait l'objet à ce jour d'une réplification systématique dans les économies émergentes ; sa transposition au contexte marocain, par exemple, devra être vérifiée empiriquement plutôt que présumée.

3.4. L'innovation ouverte et ses implications pour la gestion des investissements

L'émergence de modèles d'innovation ouverte (Chesbrough, 2003) constitue l'une des transformations les plus significatives des pratiques de R&D. Le passage d'un modèle fermé où l'innovation était générée, protégée et commercialisée exclusivement en interne à un modèle ouvert où les entreprises collaborent avec des partenaires externes (universités, start-ups, concurrents, laboratoires publics) modifie profondément la nature des coûts de R&D, qui ne sont plus seulement internes mais incluent des coûts de coordination et de transaction. Ce modèle introduit de nouveaux risques (confidentialité, dépendance) mais ouvre des opportunités en permettant d'accéder à des connaissances susceptibles de réduire les coûts et d'accélérer les cycles de développement (Laursen & Salter, 2006).

Pour les start-ups deep-tech, cette évolution soulève la question cruciale de la capacité d'absorption (absorptive capacity) au sens de (Cohen & Levinthal, 1990), c'est-à-dire la faculté d'identifier, d'assimiler et d'exploiter les connaissances externes. Cette capacité se construit lentement à travers des investissements cumulés en formation, en veille scientifique et en recrutement de profils qualifiés. Une start-up qui en est dépourvue risque de rencontrer des difficultés à valoriser les ressources mises à disposition dans le cadre de l'innovation ouverte. Ce mécanisme constitue l'un des liens d'interdépendance les plus robustes entre la dimension organisationnelle et la dimension financière de l'optimisation, comme nous le montrons dans la section 6 (West & Bogers, 2014).

4. L'incertitude, condition constitutive des investissements en R&D

4.1. De la distinction risque / incertitude à la taxonomie des formes d'inconnaissance

L'incertitude est indissociable de toute activité d'innovation. Comme le rappellent (Kline & Rosenberg, 1986), créer du nouveau suppose par définition d'affronter ce que l'on ne comprend pas encore. Sous ce terme générique se cachent des réalités très différentes dont la confusion conduit à des erreurs graves de diagnostic et de pilotage. La distinction fondatrice reste celle établie par Knight (1921) entre le risque, défini comme un événement dont la probabilité de

réalisation est mesurable objectivement par sa fréquence historique, ou subjectivement par la vraisemblance que lui attribue le décideur, et l'incertitude radicale, qui renvoie à des situations où cette probabilité est fondamentalement inconnue. Cette distinction a des implications profondes : face au risque, les méthodes actuarielles sont applicables ; face à l'incertitude radicale, elles sont inopérantes.

(Ellsberg, 1961) a enrichi cette distinction en introduisant le concept d'ambiguïté pour désigner les situations où les probabilités subjectives ne peuvent être fiablement établies, en raison d'une information insuffisante ou contradictoire. Dans ces situations, les axiomes de Savage sur lesquels repose la théorie de l'utilité espérée sont violés. (Keynes, 1936) avait théorisé l'incertitude radicale au sens fort comme une situation où l'on ne sait fondamentalement rien sur les événements possibles et leurs conséquences. Cette perspective post-keynésienne est particulièrement pertinente pour les innovations de rupture dont les applications finales ne peuvent être anticipées au lancement. (Bouyssou et al., 2006) ont également montré que deux personnes rationnelles peuvent avoir des jugements de probabilité différents sur le même événement, car leur expérience personnelle transforme leurs jugements subjectifs.

(Loch, C. H., De Meyer, A., & Pich, M. T. (2006)) ont proposé une taxonomie opérationnelle distinguant les incertitudes prévisibles (foreseen uncertainty), pour lesquelles il est possible d'identifier à l'avance les événements susceptibles de se produire ; les incertitudes imprévisibles (unforeseen uncertainty ou unk-unks), qui ne peuvent être anticipées car les variables d'influence ne sont pas encore identifiées ; et le chaos, qui caractérise les situations où l'environnement est si turbulent que toute modélisation devient vaine. Le tableau 2 synthétise ces formes d'incertitude et les stratégies qui leur correspondent.

À titre d'illustration, une start-up développant une thérapie génique fait typiquement face aux quatre formes d'incertitude ainsi distinguées : le risque proprement dit correspond aux essais précliniques, dont les taux de succès historiques sont documentés ; l'ambiguïté apparaît lorsque les premiers résultats cliniques sont équivoques et ne permettent pas de trancher entre plusieurs hypothèses mécanistiques ; l'incertitude imprévisible se manifeste lorsqu'un effet secondaire non anticipé oblige à revoir entièrement le protocole ; le chaos surgit enfin si un changement réglementaire majeur redéfinit soudainement les voies d'homologation disponibles. Cet exemple stylisé illustre pourquoi une même trajectoire de projet peut traverser successivement plusieurs régimes d'incertitude, appelant des réponses managériales différenciées.

Tableau 2 : Taxonomie des formes d'incertitude et stratégies managériales

Forme d'incertitude	Définition	Caractéristiques	Stratégie managériale adaptée
Risque (Knight, 1921)	Probabilité mesurable	Données historiques disponibles ; calcul actuariel possible	VAN, TRI, assurance ; méthodes statistiques classiques
Ambiguïté (Ellsberg, 1961)	Probabilités subjectives non fiables	Information insuffisante ou contradictoire ; distorsion des probabilités	Scénarios multiples ; approches robustes ; consultation d'experts
Incertitude imprévisible (De Meyer et al., 2002)	Variables non identifiables au lancement	Surprises en cours de projet ; unk-unks	Sélectionnisme ; exploration parallèle de plusieurs voies
Incertitude radicale (Keynes, 1936)	Probabilisation fondamentalement impossible	Avenir ouvert ; absence totale d'information a priori	Flexibilité maximale ; options réelles ; révision continue

Source : Auteurs

Face aux incertitudes prévisibles, des stratégies d'apprentissage séquentiel permettent de conditionner les investissements aux résultats de chaque étape, selon une logique formalisée par la théorie des options réelles (Dixit, A. K., & Pindyck, R. S. (1994)). Face aux incertitudes imprévisibles, des approches sélectionnistes consistant à explorer simultanément plusieurs voies alternatives se révèlent plus adaptées (Sommer & Loch, 2004). Ces deux logiques

coexistent fréquemment au sein des projets de R&D des start-ups deep-tech, ce qui explique en partie la nécessité de montages financiers hybrides capables d'absorber différents profils de risque.

4.2. Les sources multiples de l'incertitude dans les projets de R&D

L'incertitude qui caractérise les investissements en R&D ne provient pas d'une source unique mais d'une pluralité de facteurs interdépendants. La littérature distingue quatre grandes catégories, synthétisées dans le tableau 3 (Loch et al., 2006; Milliken, 1987).

Il importe de distinguer d'emblée le niveau d'analyse de ces deux typologies, afin d'éviter toute confusion entre elles. Le tableau 2 identifie des formes générales d'incertitude, définies par leur structure épistémique - c'est-à-dire - par le fait que la probabilité des événements soit ou non mesurable (risque, ambiguïté, incertitude imprévisible, incertitude radicale). Le tableau 3, en revanche, recense des sources spécifiques d'incertitude, ancrées dans le contenu métier des projets de R&D (technologique, commerciale, financière, organisationnelle). Ces deux niveaux sont orthogonaux plutôt que hiérarchiques : une même source du tableau 3 peut relever, selon les circonstances, de plusieurs formes du tableau 2 : une incertitude technologique peut ainsi se manifester tantôt comme un risque mesurable (taux de succès d'un essai standardisé), tantôt comme une incertitude radicale (échec d'un mécanisme scientifique jamais testé).

Tableau 3 : Sources d'incertitude dans les investissements en R&D et implications pour l'optimisation

Source d'incertitude	Manifestations principales	Implications pour l'optimisation	Références clés
Technologique	Faisabilité incertaine ; performance non garantie ; délais sous-estimés ; scalabilité difficile	Approche séquentielle par jalons ; prototypes progressifs ; diversification des voies technologiques	Loch et al. (2006); Ferrary & Granovetter (2009); Mankins (1995)
Commerciale	Marché spéculatif ; adoption incertaine ; réaction des concurrents imprévisible ; prix aléatoire	Tests marché précoces (MVP) ; co-développement avec clients pilotes ; veille concurrentielle	Milliken (1987) ; Moore (1991) ; Henderson & Clark (1990)
Financière	Disponibilité des fonds aléatoire ; coût du capital variable ; projections fragiles ; sorties incertaines	Financements hybrides ; jalons conditionnels ; diversification des sources à chaque stade	Hall & Lerner (2010); Mukherjee et al. (2024); Dixit & Pindyck (1994)
Organisationnelle	Compétences rares ; coordination difficile ; gouvernance inadaptée ; rotation du personnel clé	Gouvernance flexible ; indicateurs partagés ; culture de confiance ; plans de continuité	Loch et al. (2006) ; Cohen & Levinthal (1990) ; Tidd & Bessant (2021)

Source : Auteurs

L'incertitude technologique concerne la faisabilité et la performance des technologies en développement. Elle constitue la source d'incertitude la plus visible dans les projets deep-tech (Ferrary & Granovetter, 2009), se manifestant à travers la faisabilité technique elle-même, la performance effective une fois la faisabilité démontrée, les délais chroniquement sous-estimés, et la scalabilité industrielle. L'incertitude commerciale porte sur l'acceptation de la technologie sur le marché : même lorsqu'une innovation fonctionne techniquement, son succès commercial n'est jamais garanti (Milliken, 1987). Les innovations de rupture peuvent se heurter à des résistances psychologiques et à des problèmes de compatibilité avec les infrastructures existantes phénomène que Moore (1991) a qualifié de « fosse de l'adoption ». L'incertitude financière concerne la disponibilité et le coût des ressources (Hall & Lerner, 2010), tandis que

l'incertitude organisationnelle porte sur les capacités des équipes et la préservation des connaissances tacites (Loch, C. H., De Meyer, A., & Pich, M. T. (2006)).

Ces quatre sources ne sont pas indépendantes : elles interagissent et se renforcent mutuellement selon des boucles de rétroaction. Un retard technologique peut générer une incertitude financière (les investisseurs reportent leur décision) et organisationnelle (les équipes se dispersent). Réciproquement, une incertitude financière peut contraindre l'équipe à réduire ses ambitions technologiques. La gestion de l'incertitude doit donc être globale et intégrée.

4.3. L'incertitude : contrainte à gérer ou opportunité à exploiter ?

La littérature a longtemps privilégié une vision défensive de l'incertitude, la considérant comme un risque à minimiser. Cette approche se traduit par des stratégies de diversification du portefeuille de projets, de sélection rigoureuse et de mise en place de dispositifs de gestion des risques. Elle est adaptée aux projets incrémentaux où l'expérience passée permet une certaine prévisibilité. Plusieurs auteurs ont documenté ses conséquences : l'incertitude augmente le coût du capital (Dixit & Pindyck, 1994), peut conduire à des erreurs d'allocation par sous-investissement dans les projets à long terme (Hall & Lerner, 2010), et nécessite des dispositifs coûteux qui mobilisent des ressources qui auraient pu être allouées à la R&D elle-même.

Une perspective alternative considère l'incertitude comme une condition nécessaire à la création de valeur (McGrath & MacMillan, 2000). Sans incertitude, il n'y a pas de découverte ni d'avantage concurrentiel durable. Ceux qui parviennent à lever l'incertitude bénéficient d'une rente d'innovation dont la hauteur est proportionnelle à l'incertitude initiale. L'approche par options réelles formalise cette intuition en montrant que la flexibilité managériale - la capacité à adapter les décisions à mesure que l'information devient disponible - a une valeur positive que les méthodes classiques ignorent (Amram & Kulatilaka, 1999; Dixit & Pindyck, 1994). Pour les start-ups deep-tech, l'enjeu est de trouver le bon équilibre : un excès de prudence conduit à renoncer aux opportunités les plus prometteuses ; un excès d'audace conduit à des échecs prévisibles. L'optimisation consiste à identifier les incertitudes qui méritent d'être assumées et celles qui doivent être transférées à d'autres acteurs.

4.4. La dynamique temporelle de l'incertitude

L'incertitude n'est pas une donnée statique. Elle évolue selon deux mouvements antagonistes. L'avancement du projet réduit progressivement certaines incertitudes initiales, à travers des mécanismes d'apprentissage : l'expérimentation (tests, prototypes, pilotes industriels), l'analyse des données issues des essais, la veille technologique systématique et l'interaction avec les parties prenantes. Ces mécanismes constituent le fondement de l'approche par options réelles : chaque étape franchie produit des informations qui n'existaient pas et éclairent les décisions suivantes (Dixit, A. K., & Pindyck, R. S. (1994)).

De l'autre côté, l'environnement dynamique génère de nouvelles incertitudes : technologies concurrentes imprévues, changements réglementaires, évolutions des préférences des clients, entrée de nouveaux concurrents ou chocs macroéconomiques. Lane et Maxfield (2004) ont montré que cette dynamique présente deux dimensions : la multi-temporalité (les différentes actions n'ont pas la même échelle temporelle) et la pluri-temporalité (les actions ne sont pas affectées de la même façon par les évolutions temporelles). Cette persistance signifie que l'objectif ne peut être l'élimination complète de l'incertitude mais sa réduction à un niveau où les risques résiduels sont acceptables, en concevant les projets pour s'adapter aux surprises inévitables. Cela suppose une veille continue, une flexibilité organisationnelle et une révision régulière des décisions d'investissement (De Meyer et al., 2002).

5. Les parties prenantes des investissements en R&D : identification et gouvernance

5.1. La théorie des parties prenantes et son application à la R&D

La théorie des parties prenantes, fondée par (Freeman, 1984) dans son ouvrage *Strategic Management: A Stakeholder Approach*, propose une alternative à la vision actionnariale en affirmant que l'entreprise doit prendre en compte les intérêts de l'ensemble des acteurs qui peuvent affecter ou être affectés par ses objectifs. (Mitchell et al., 1997) ont affiné ce cadre en proposant de classer les parties prenantes selon trois attributs : le pouvoir (capacité d'influencer l'organisation), la légitimité (caractère approprié de leur relation avec l'organisation) et l'urgence (degré d'exigence immédiate). Cette classification permet de distinguer des parties prenantes latentes (un seul attribut), qui attendent (deux attributs) et définitives (les trois attributs réunis), exigeant une attention prioritaire.

Trois courants ont progressivement enrichi la théorie (Donaldson & Preston, 1995). Le courant descriptif cherche à expliquer comment les entreprises prennent effectivement en compte leurs parties prenantes. Le courant instrumental postule qu'une prise en compte efficace est un facteur de performance économique. Le courant normatif soutient que cette prise en compte est une exigence morale indépendante de ses effets sur la performance. Pour les investissements en R&D financés par des fonds publics, ce dernier courant est particulièrement pertinent : les agences de financement exigent une transparence sur l'utilisation des fonds qui ne se réduit pas à une logique de performance financière.

L'application de la théorie des parties prenantes à la R&D et à l'innovation est plus récente mais a donné lieu à des développements significatifs (Freeman, 1984; Tidd & Bessant, 2021). Plusieurs spécificités justifient cette attention. Les projets deep-tech impliquent des acteurs très divers : chercheurs, investisseurs, pouvoirs publics et partenaires industriels, dont les logiques et temporalités sont hétérogènes. L'incertitude radicale rend difficile l'évaluation a priori de la contribution de chaque partie prenante. Le financement hybride implique des exigences multiples et parfois contradictoires de transparence et d'accountability (Mukherjee, A., Owen, R., Scott, J. M., & Lyon, F. (2024) .

5.2. Typologie des parties prenantes dans les investissements en R&D des start-ups deep-tech

La configuration des parties prenantes dans les start-ups deep-tech présente des spécificités qui justifient une analyse particulière. Le tableau 4 propose une typologie structurée distinguant acteurs internes et externes.

L'importance des parties prenantes publiques est généralement plus grande dans les start-ups deep-tech que dans d'autres formes d'entreprises innovantes. Les subventions, crédits d'impôt recherche et programmes de co-investissement sont essentiels dans les phases précoces où le risque est trop élevé pour les marchés privés (Czarnitzki et al., 2007). La relation avec ces parties prenantes est régie par des règles spécifiques, telles que la transparence, le reporting et la prise en compte des retombées économiques locales, qui diffèrent profondément de celles applicables aux investisseurs privés. Les start-ups deep-tech entretiennent également des liens étroits avec les universités et les laboratoires publics dont elles sont souvent issues. Ces liens peuvent être sources d'avantages considérables : compétences scientifiques pointues, équipements coûteux, réseaux académiques mais aussi de complexités : propriété intellectuelle, conflits d'attribution, temporalités divergentes. La gestion du « paradoxe du financement » (Mukherjee et al., 2024) qui consiste à devoir simultanément démontrer un potentiel de rendement élevé aux investisseurs privés et des retombées sociales aux financeurs publics, constitue l'un des enjeux de gouvernance les plus délicats.

Tableau 4 : Typologie des parties prenantes dans les investissements en R&D des start-ups deep-tech

Catégorie	Acteurs principaux	Attentes dominantes	Horizon temporel	Enjeux de coordination
Internes Direction	Fondateurs, dirigeants, actionnaires	Valeur, avantage concurrentiel, autonomie	Long terme (8–12 ans)	Alignement stratégie / finances
Internes Équipes R&D	Chercheurs, ingénieurs, techniciens	Excellence scientifique, ressources, tolérance à l'échec	Moyen à long terme	Stabilité des équipes ; connaissances tacites
Internes Services supports	Finance, marketing, production	Prévisions fiables, indicateurs clairs	Court à moyen terme	Interfaces conflictuelles avec R&D
Externes Investisseurs privés	Capital-risque, business angels	Rendement élevé, liquidité, sortie 5–10 ans	Court à moyen terme	Tension rendement / ambitions scientifiques
Externes Pouvoirs publics	État, agences, collectivités	Retombées économiques et sociales	Cycles budgétaires (3–5 ans)	Reporting et transparence exigés
Externes Partenaires industriels	Grands groupes, laboratoires, start-ups	Accès aux technologies, complémentarité	Variable	Propriété intellectuelle à négocier

Source : Auteurs

Ce paradoxe se manifeste concrètement lorsqu'une start-up sollicitant simultanément un fonds de capital-risque et une subvention publique à l'innovation doit présenter, dans un même dossier ou à des étapes rapprochées, un plan d'affaires démontrant un potentiel de rendement élevé à cinq ans pour le premier interlocuteur et un argumentaire de retombées sociales et territoriales pour le second deux registres de justification dont la cohérence réciproque est rarement questionnée mais qui peuvent, en pratique, orienter le projet dans des directions divergentes (par exemple entre une stratégie de sortie rapide par acquisition et un ancrage local durable). Ce résultat, établi empiriquement par (Mukherjee, A., Owen, R., Scott, J. M., & Lyon, F. (2024)) dans le champ du financement de l'innovation verte, reste à valider empiriquement pour le deep-tech dans son ensemble, mais le mécanisme qu'il décrit la coexistence de logiques de justification hétérogènes au sein d'un même montage financier est structurellement transposable aux start-ups deep-tech, qui combinent elles aussi, de manière encore plus systématique, financements publics et privés.

5.3. Les mécanismes de coordination et la construction du consensus décisionnel

L'optimisation des investissements en R&D suppose de mettre en place des mécanismes permettant de coordonner efficacement des parties prenantes aux intérêts souvent divergents. Trois obstacles structurels rendent cette coordination difficile. Les asymétries d'information : les équipes de R&D ont une connaissance fine du terrain technique que les investisseurs ou pouvoirs publics ne perçoivent pas, ce qui génère des décisions sous-optimales. Les divergences temporelles : les investisseurs en capital-risque cherchent une sortie à 5–10 ans, les pouvoirs publics s'inscrivent dans des cycles budgétaires courts, les équipes de R&D ont des objectifs scientifiques à long terme. Les différences culturelles : chercheurs, ingénieurs, financiers et marketeurs ne partagent ni le même langage ni les mêmes critères de succès (Loch, C. H., De Meyer, A., & Pich, M. T. (2006)).

La littérature identifie plusieurs mécanismes de coordination efficaces (Tidd et Bessant, 2021). Les structures de gouvernance formelles, telles que les comités de pilotage et les conseils scientifiques, créent un espace de dialogue collectif. Les indicateurs partagés tableaux de bord, OKR, milestones maintiennent une vision commune. Les contrats et accords-cadres stabilisent les attentes et préviennent les conflits. La culture de la confiance, qui se construit par des interactions régulières et une communication transparente est le ciment informel sans lequel les dispositifs formels restent insuffisants. La construction d'un consensus ne signifie pas

l'élimination des divergences, un consensus trop précoce peut conduire au groupthink, mais leur canalisation productive vers des décisions collectives légitimées (Christenson & Walker, 2004). Pour prévenir spécifiquement ce risque de consensus prématuré, la littérature sur la gouvernance de projet recommande plusieurs dispositifs complémentaires. La désignation d'un « avocat du diable », chargé de challenger systématiquement les décisions engageantes avant leur formalisation, permet d'introduire un désaccord structuré au sein même du processus décisionnel. Le recours à des experts externes non impliqués dans le projet offre un regard non contaminé par les enjeux de carrière ou d'appartenance des parties prenantes internes. L'organisation de revues croisées entre projets similaires au sein d'un même portefeuille ou avec des pairs externes permet de comparer les hypothèses retenues à des références indépendantes. Enfin, l'instauration d'une culture managériale qui valorise explicitement l'expression des désaccords, plutôt que de la traiter comme un obstacle à la cohésion d'équipe, réduit l'autocensure qui alimente le groupthink (Christenson & Walker, 2004). Ces dispositifs ne visent pas à retarder la décision mais à s'assurer qu'elle intègre la diversité des points de vue avant que le consensus ne se referme.

6. L'approche décisionnelle des investissements en R&D : pilotage et logiques d'optimisation

6.1. Les caractéristiques distinctives de la décision d'investissement en R&D

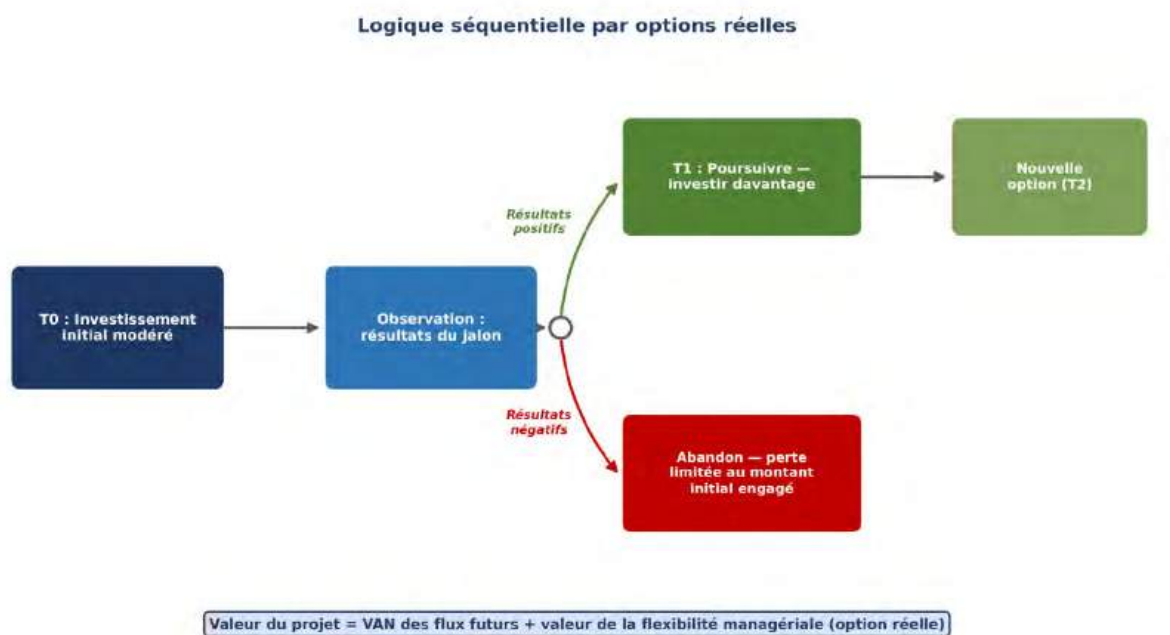
La décision d'investir en R&D se distingue des décisions classiques par trois caractéristiques fondamentales. L'irréversibilité partielle : les ressources engagées ne peuvent être que partiellement récupérées en cas d'échec. Les équipements spécifiques, les connaissances tacites accumulées et les brevets déposés ont une valeur de revente très faible en dehors du projet qui les a générés. Cette irréversibilité est encore plus marquée dans les start-ups deep-tech, où les actifs de connaissance sont souvent indissociables des équipes qui les ont produits (Hall & Lerner, 2010; Williamson, 1985). L'incertitude radicale rend inopérantes les méthodes classiques d'évaluation fondées sur l'actualisation de flux futurs (Dixit & Pindyck, 1994). La flexibilité managériale - possibilité d'accélérer, de ralentir, de réorienter ou d'abandonner un projet - a une valeur positive que la théorie des options réelles formalise précisément (Amram & Kulatilaka, 1999).

Comme l'illustre la figure 2 ci-dessous, l'entreprise procède par étapes successives face à ces caractéristiques : chaque étape y est représentée comme un nœud de décision où un investissement initial modéré (T_0) permet d'observer les résultats d'un jalon avant de décider, selon que ces résultats sont positifs ou négatifs, soit de poursuivre en investissant davantage pour ouvrir une nouvelle option (T_1), soit d'abandonner en limitant la perte au seul montant initial engagé. Cette représentation traduit visuellement l'idée centrale de la théorie des options réelles : chaque étape est conçue comme une option d'investissement sur la suivante, l'entreprise investissant initialement un montant modéré pour acquérir des informations et réduire l'incertitude, puis décidant à la lumière des résultats obtenus de poursuivre, réorienter ou abandonner.

Face à ces caractéristiques, la littérature préconise une approche séquentielle. L'entreprise procède par étapes successives, chaque étape étant conçue comme une option d'investissement sur la suivante : elle investit initialement un montant modéré pour acquérir des informations et réduire l'incertitude, puis décide à la lumière des résultats obtenus de poursuivre, réorienter ou abandonner. Cette logique présente trois avantages : limiter les pertes en cas d'échec, conditionner les décisions aux résultats, et améliorer la qualité des décisions futures en produisant progressivement les informations nécessaires. La valeur d'un projet de R&D ne se réduit pas à la valeur actualisée de ses flux futurs (VAN), mais inclut la valeur des options

créées possibilité d'investir davantage si les premiers résultats sont positifs, ou de se retirer sans pertes excessives s'ils sont négatifs.

Figure 2 : Logique séquentielle par options réelles dans les décisions d'investissement en R&D



Source : Auteurs

Cette approche connaît toutefois des limites pratiques bien documentées, qui tempèrent sa présentation comme logique naturellement supérieure face à l'incertitude radicale. L'estimation des paramètres de volatilité et de valeur de l'actif sous-jacent, centrale au calcul des modèles de type Black-Scholes, suppose l'existence de marchés de référence liquides permettant d'observer des prix comparables, condition rarement satisfaite pour des technologies de rupture sans équivalent commercial établi. En l'absence de tels marchés, les praticiens doivent recourir à des estimations subjectives dont la fiabilité reste discutable, ce qui limite l'opérationnalité de la théorie des options réelles à un usage principalement heuristique et qualitatif dans les start-ups deep-tech structurant la manière de séquencer les décisions plutôt qu'à un calcul quantitatif précis de la valeur des options (Trigeorgis, 1996). Cette limite rejoint d'ailleurs celle déjà relevée pour la logique stratégique dans le tableau 6 : dans les deux cas, l'opérationnalisation rigoureuse de l'outil se heurte au caractère radicalement incertain de l'objet même qu'il cherche à évaluer.

6.2. Le cycle de vie des décisions d'investissement et les jalons décisionnels

Le processus d'investissement en R&D s'inscrit dans un cycle de vie comprenant plusieurs phases, synthétisées dans le tableau 5 ci-dessous (Loch et al., 2006; Tidd & Bessant, 2021). La structuration en phases s'accompagne de points de décision (milestones) où l'avancement est évalué et la décision de poursuivre, réorienter ou arrêter est prise. Ces milestones remplissent plusieurs fonctions essentielles : rythmer le projet et éviter les dérives, offrir une visibilité aux parties prenantes, constituer des occasions d'apprentissage structuré, et permettre la réallocation des ressources vers les projets les plus prometteurs. Leur définition est un exercice délicat : des milestones trop fréquents fragmentent le projet et découragent les équipes ; des milestones trop espacés laissent dériver des projets sans issue. Des critères trop rigides peuvent conduire à abandonner prématurément des projets dont les difficultés sont solubles ; des critères trop flous ouvrent la voie aux biais cognitifs. (Loch, C. H., De Meyer, A., & Pich, M. T. (2006)).

Dans les start-ups deep-tech, ces milestones sont souvent négociés entre fondateurs et investisseurs, chaque partie cherchant à aligner les critères sur ses propres objectifs.

Tableau 5 : Phases du cycle de vie des décisions d'investissement en R&D

Phase	Enjeux principaux	Type d'incertitude dominant	Instruments et mécanismes
1. Idéation et sélection	Générer et évaluer les idées ; constituer un portefeuille diversifié ; éliminer les projets non pertinents	Radicale et imprévisible (tout est possible)	Grilles multicritères ; TRL ; scoring stratégique ; due diligence technologique
2. Lancement et financement initial	Décider du premier engagement ; limiter l'irréversibilité ; acquérir les premières informations	Élevée (foreseen uncertainty dominante)	Subventions publiques ; amorçage ; options go/no go ; contrats de recherche
3. Développement et décisions séquentielles	Poursuivre, réorienter ou abandonner à chaque jalon ; gérer les surprises (unk-unks)	Variable et évolutive (nouvelles incertitudes émergent)	Milestones formalisés ; tableaux de bord ; apprentissage organisationnel ; sélectionnisme
4. Commercialisation et sortie	Mise sur le marché ; conditions de sortie pour les investisseurs ; protection des actifs intellectuels	Commerciale et concurrentielle	Stratégie go-to-market ; M&A ; IPO ; licences technologiques

Source : Auteurs

6.3. Le pilotage par portefeuille d'investissement

La gestion par portefeuille (Project Portfolio Management) consiste à optimiser la composition globale d'un ensemble de projets en arbitrants entre risque et rendement (Cooper et al., 2001). Elle repose sur quatre principes complémentaires : la diversification des risques, l'arbitrage risque/rendement, la prise en compte des contraintes de ressources, et l'équilibre stratégique entre projets à court et long terme. Kavadias et Chao (2006) distinguent trois niveaux de décision : le niveau de la firme (enveloppe globale et orientations), le niveau du portefeuille (sélection et priorisation) et le niveau du projet (allocation des ressources en cours de développement).

Les bénéfices sont bien documentés : mutualisation des risques, apprentissage croisé entre projets, flexibilité stratégique accrue et crédibilité renforcée vis-à-vis des investisseurs. Mais les limites doivent être reconnues. La dilution des efforts : en finançant trop de projets, l'entreprise risque de disperser ses ressources au point qu'aucun ne bénéficie d'un financement suffisant, ce que la littérature qualifie de « médiocrité généralisée » (Cooper et al., 2001). Les biais décisionnels : Kahneman et Tversky (1979) montrent que l'excès de confiance et l'aversion aux pertes peuvent fausser les arbitrages. L'inadaptation aux très petites structures : la gestion de portefeuille suppose une masse critique qui n'est pas toujours disponible dans les start-ups deep-tech, surtout dans les économies émergentes.

6.4. Les logiques d'optimisation et leur articulation

La littérature identifie trois grandes logiques d'optimisation, synthétisées dans le tableau 6 ci-dessous.

Ces logiques sont complémentaires et peuvent être articulées en fonction du contexte. La logique financière sera privilégiée pour les projets incrémentaux dont les flux futurs peuvent être estimés. La logique stratégique sera mobilisée pour les projets de rupture dont les apports ne sont pas quantifiables à court terme. La logique d'options sera déployée pour les projets à forte incertitude et haute flexibilité. Dans la pratique, les start-ups deep-tech qui réussissent sont souvent celles qui parviennent à articuler ces trois logiques de manière cohérente en adaptant

leur stratégie à chaque étape de développement. La logique financière pure reste rarement pertinente dans ce contexte, car l'incertitude est trop élevée pour que les estimations de flux futurs soient fiables (Hall & Lerner, 2010) .

Tableau 6 : Logiques d'optimisation des investissements en R&D et conditions d'application

Logique d'optimisation	Objectif central	Outils mobilisés	Contexte d'application et limites
Financière	Maximiser la VAN du portefeuille sous contraintes de ressources	VAN, TRI, payback, programmation linéaire, scoring financier	Adaptée aux projets incrémentaux avec données historiques disponibles ; perd sa pertinence face à l'incertitude radicale
Stratégique	Aligner le portefeuille sur les orientations de long terme	BSC, cartographie de compétences, scoring stratégique qualitatif	Mieux adaptée aux projets de rupture ; difficile à quantifier ; risque de subjectivité dans les arbitrages
Options réelles	Maximiser la valeur de la flexibilité managériale et des opportunités futures	Black-Scholes, arbres binomiaux, options d'expansion, d'abandon, de temporisation	Particulièrement adaptée à forte incertitude ; repose sur des hypothèses parfois non vérifiées dans la R&D

Source : Auteurs

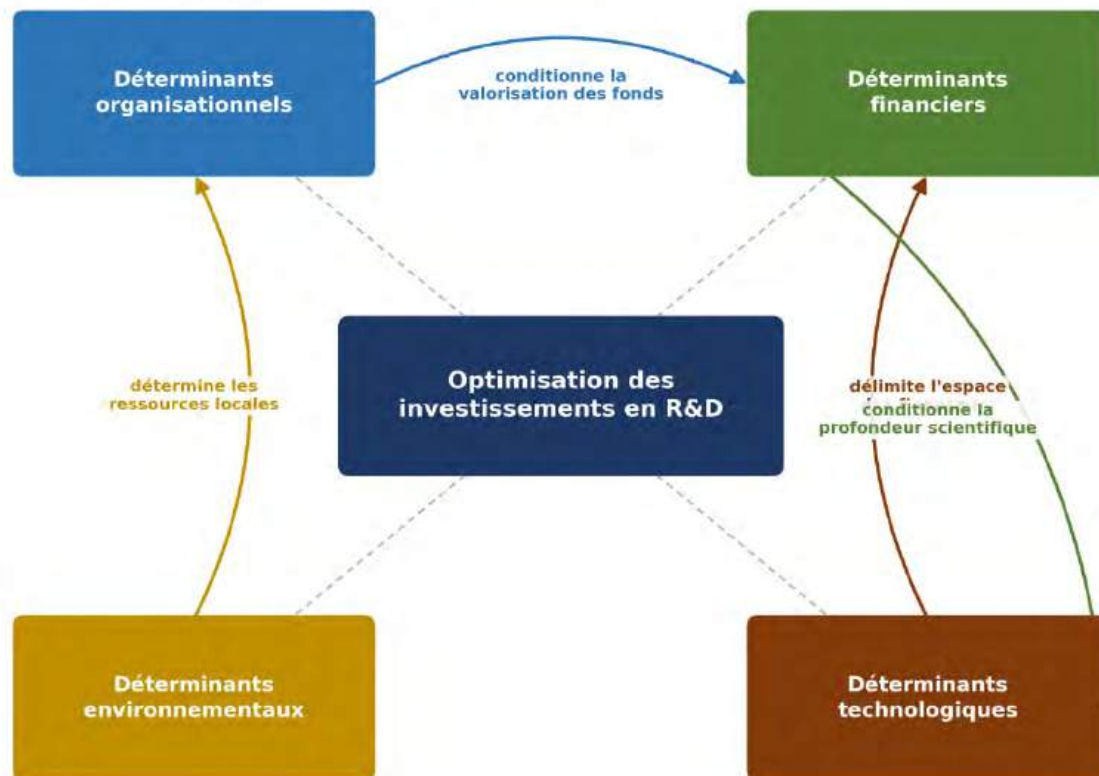
7. Les déterminants de l'optimisation et leurs interactions systémiques

Comprendre pourquoi certaines entreprises tirent plus de valeur de leurs investissements en R&D que d'autres exige d'adopter une lecture multi-niveaux. La littérature a progressivement identifié quatre catégories de déterminants organisationnels, financiers, environnementaux et technologiques qui structurent des logiques de cause à effet distinctes, des échelles temporelles variées et des leviers d'action entre les mains d'intervenants différents.

Le choix de retenir précisément quatre catégories de déterminants plutôt qu'une autre typologie mérite d'être explicité. La littérature en management de l'innovation propose parfois des découpages alternatifs, distinguant une dimension humaine ou de capital social autonome de la dimension organisationnelle, ou une dimension institutionnelle distincte de la dimension environnementale. Le choix opéré ici privilégie un niveau d'agrégation intermédiaire, suffisamment fin pour capturer les mécanismes causaux identifiés dans la littérature mobilisée, mais suffisamment parcimonieux pour rester actionnable par les décideurs : les enjeux humains et de capital social sont ainsi traités comme une composante de la dimension organisationnelle à travers la capacité d'absorption, les capacités dynamiques et le capital humain des fondateurs (voir 7.1), tandis que les enjeux institutionnels sont intégrés à la dimension environnementale, dont ils constituent une composante structurante. Ce choix de simplification analytique, cohérent avec les canons de la théorisation configurationnelle (Whetten, 1989), n'exclut pas que des travaux futurs affinent cette typologie ou en isolent certaines composantes.

La figure 3 ci-dessous représente les quatre dimensions du cadre conceptuel comme les sommets d'une configuration interdépendante organisée autour de l'optimisation des investissements en R&D. Chaque flèche reliant deux dimensions symbolise l'un des mécanismes de conditionnement mutuel détaillés dans le tableau 8, et non une simple corrélation statistique : ainsi, la flèche reliant les déterminants organisationnels aux déterminants financiers illustre le fait que la capacité d'absorption conditionne la valorisation effective des fonds mobilisés, tandis que celle reliant les déterminants technologiques aux déterminants financiers traduit la manière dont le niveau de maturité (TRL) délimite l'espace des financeurs accessibles. La lecture de la figure doit se faire de manière circulaire plutôt que linéaire : aucune dimension n'occupe une position hiérarchiquement supérieure aux autres, et c'est la configuration d'ensemble plutôt qu'un déterminant isolé qui conditionne l'efficacité des investissements en R&D. Les sous-sections suivantes détaillent chacune de ces quatre dimensions avant que la sous-section 7.5 ne revienne sur leurs interactions.

Figure 3 : Cadre conceptuel quadridimensionnel de l'optimisation des investissements en R&D



Source : Auteurs

7.1. Les déterminants organisationnels

Les facteurs organisationnels conditionnent la capacité d'une entreprise à identifier les projets les plus prometteurs, à mobiliser les connaissances pertinentes et à maintenir des investissements ambitieux dans la durée. La gouvernance et l'architecture décisionnelle occupent une place centrale. Tidd et Bessant (2021) ont montré que la présence d'un comité R&D au niveau du conseil d'administration, composé de profils à la fois techniques et financiers, améliore significativement la cohérence des choix d'investissement. Un conseil sans expertise technologique aura du mal à challenger les hypothèses des équipes de recherche, à distinguer un projet scientifiquement solide d'un projet spéculatif, ou à résister aux arbitrages court-termistes. Ferrary et Granovetter (2009) l'ont documenté : l'expertise des board members est un prédicteur non négligeable de la qualité des décisions d'investissement.

La capacité d'absorption (Cohen & Levinthal, 1990) constitue un deuxième déterminant essentiel : la faculté d'identifier, d'assimiler et d'exploiter les connaissances externes se construit lentement à travers des investissements cumulés en formation, en veille scientifique et en recrutement de profils qualifiés. Une start-up qui en est dépourvue sera incapable de tirer parti d'un partenariat avec un laboratoire public, même si les ressources sont disponibles. Ce mécanisme constitue l'un des liens d'interdépendance les plus robustes entre les dimensions organisationnelle et financière.

La culture d'innovation notamment la tolérance institutionnelle à l'échec est un troisième facteur structurant. Tellis et al. (2009) ont montré, à partir d'une étude comparative internationale, que

les organisations qui institutionnalisent cette tolérance génèrent davantage d'innovations radicales. Si les chercheurs craignent pour leur carrière dès qu'un projet dévie de ses objectifs, ils se concentreront sur les projets les moins risqués : l'aversion au risque individuelle contamine la stratégie collective. L'horizon temporel des décideurs constitue enfin un quatrième déterminant : Hall et Lerner (2010) ont établi que les entreprises dont les actionnaires acceptent d'attendre - logique de « patient capital » - sont structurellement mieux placées pour financer des projets ambitieux dont les cycles s'étendent fréquemment sur huit à douze ans.

7.2. Les déterminants financiers

Hall et Lerner (2010) ont établi un résultat fondamental : ce n'est pas le niveau absolu des dépenses de R&D qui prédit le mieux leur efficacité, mais leur régularité. Un projet interrompu ne reprend jamais exactement là où il s'était arrêté : les équipes se dispersent, les connaissances tacites se perdent et les partenaires se tournent vers d'autres collaborations. Les entreprises bénéficiant de ressources prévisibles autofinancement solide, contrats pluriannuels ou actionnariat stable sont structurellement mieux armées pour mener à terme des projets ambitieux.

Chaque source de financement vient avec ses propres logiques. Le capital-risque combine apport de fonds et accompagnement stratégique (Ferrary, M., & Granovetter, M. (2009)) mais impose des horizons de sortie incompatibles avec les cycles longs des deep-tech. Les subventions publiques acceptent un risque technologique élevé mais sont lourdes administrativement et incertaines dans leur renouvellement (Czarnitzki et al., 2007). Les financements hybrides, qui articulent capitaux publics et privés, ont suscité un intérêt croissant (Mukherjee, A., Owen, R., Scott, J. M., & Lyon, F. (2024)) : ils répartissent le risque entre financeurs, élargissent l'espace des projets finançables et créent un mécanisme de crédibilité mutuelle. Sur un plan comportemental, l'aversion aux pertes documentée par Kahneman et Tversky (1979) conduit dirigeants et investisseurs à sous-pondérer les projets risqués, même lorsque leur espérance de gain est positive. Des mécanismes institutionnels garanties publiques, co-investissement conditionnel peuvent partiellement corriger ces biais.

7.3. Les déterminants environnementaux

L'environnement constitue un système de contraintes et d'opportunités susceptibles de dominer les choix internes. La relation entre intensité concurrentielle et investissement en R&D est ambiguë : (Porter, 1986) a montré que la pression concurrentielle pousse à innover, mais une concurrence trop intense génère l'effet inverse. Lorsque les marges sont faibles et que chaque entreprise craint que ses innovations soient copiées, la tentation du free-riding s'installe : pourquoi investir si les concurrents s'approprient les résultats sans en avoir supporté les coûts ? La qualité des politiques publiques d'innovation est déterminante. Dans les économies où les marchés privés ne peuvent absorber les risques de la R&D de rupture, l'intervention publique est une nécessité structurelle (Autio et al., 2014). Isenberg (2010) a conceptualisé l'écosystème entrepreneurial comme l'ensemble des ressources locales - humaines, financières, institutionnelles, infrastructurelles - qui conditionnent la trajectoire des entreprises innovantes. Une start-up deep-tech dans un écosystème dense bénéficie d'un avantage structurel difficile à compenser autrement. Ce point est critique dans les économies émergentes où les fondateurs doivent composer avec une double contrainte : des projets techniquement exigeants et un environnement institutionnel insuffisamment développé. La stabilité macroéconomique et réglementaire constitue enfin un prérequis à tout investissement de long terme (Hall & Lerner, 2010).

7.4. Les déterminants technologiques

Les propriétés intrinsèques des technologies structurent profondément les décisions de financement. Le tableau 7 synthétise les quatre déterminants technologiques principaux.

Tableau 7 : Déterminants technologiques et implications pour le financement de l'innovation

Déterminant technologique	Configuration basse	Configuration haute	Implication pour la stratégie de financement
Maturité technologique (TRL)	Commercialisation validée (TRL 8–9)	Recherche fondamentale (TRL 1–4)	Les bas TRL exigent des financements publics ; à mesure que le TRL progresse, les capitaux privés deviennent accessibles
Caractère rupturiste	Innovation incrémentale, risque maîtrisé	Innovation radicale, incertitude structurelle	Les innovations radicales nécessitent des financeurs tolérant l'échec total ; montages hybrides souvent indispensables
Interdépendance technologique	Composants autonomes, architecture modulaire	Système complexe, composants fortement couplés	Risque systémique plaide pour une approche portefeuille ou options réelles ; partenariats de partage du risque recommandés
Scalabilité industrielle	Procédés de fabrication éprouvés à grande échelle	Procédés nouveaux non validés industriellement	Intégrer dès l'amont les coûts de démonstrateurs à échelle intermédiaire et de tests en conditions réelles

Source : Auteurs

L'échelle TRL (Mankins, 1995) est l'outil de référence pour appréhender la maturité technologique et ses implications pour le financement : les projets à bas TRL (1–4) sont ceux où l'incertitude est maximale et où les marchés privés sont les plus défaillants, justifiant l'intervention publique. Le caractère rupturiste (Henderson & Clark, 1990) conditionne la profondeur d'incertitude à absorber et le type de financeurs capables de l'assumer. Les interdépendances technologiques (Pich et al., 2002) génèrent un risque systémique supérieur à la somme des risques individuels, plaçant pour une approche portefeuille ou options réelles. La scalabilité industrielle, enfin, constitue un test de réalité souvent sous-estimé : une technologie parfaitement validée en laboratoire peut s'avérer impossible à industrialiser à grande échelle dans des conditions économiquement viables.

7.5. L'interdépendance systémique des quatre dimensions

Tableau 8 : Interactions entre déterminants et implications pour l'optimisation des investissements en R&D

Interaction entre déterminants	Mécanisme de conditionnement	Implication opérationnelle pour les start-ups deep-tech
Organisationnel / Financier	La capacité d'absorption conditionne la valorisation effective des financements disponibles	Une organisation dont les équipes manquent d'expertise pour intégrer les connaissances scientifiques sera incapable de tirer parti des ressources financières, même dans un montage hybride bien conçu
Environnemental / Organisationnel	La densité de l'écosystème territorial détermine les options organisationnelles disponibles localement	Dans un écosystème appauvri, la start-up doit développer en interne des ressources que le contexte ne fournit pas, au détriment direct de ses activités de R&D
Technologique / Financier	Le niveau TRL et le caractère rupturiste délimitent l'espace des sources de financement accessibles	Un projet à bas TRL exclut les capitaux privés classiques, oriente vers les soutiens publics et réduit la crédibilité des projections financières
Financier / Technologique	La continuité et la prévisibilité des ressources conditionnent la profondeur des investigations scientifiques	Des financements discontinus raccourcissent les horizons de recherche, appauvrissent l'exploration et peuvent conduire à abandonner des voies prometteuses faute de ressources

Source : Auteurs

L'analyse séparée de ces quatre catégories ne doit pas masquer leur interdépendance

fondamentale. Ces dimensions ne s'additionnent pas mécaniquement ; elles se conditionnent mutuellement selon des mécanismes dont l'intensité varie selon le contexte. Le tableau 8 formalise les quatre mécanismes d'interaction principaux.

Il convient de noter que le tableau 8 ci-dessus, formalise quatre mécanismes d'interaction parmi les six combinaisons possibles entre les quatre dimensions retenues. Les deux combinaisons non formalisées ici organisationnel/environnemental et technologique/organisationnel sont évoquées de manière plus diffuse dans les sous-sections précédentes (respectivement à propos de la dépendance à l'écosystème local et du rôle du comité R&D dans l'évaluation des choix technologiques) mais n'ont pas fait l'objet d'un mécanisme dédié. Ce choix reflète une priorisation des interactions jugées les plus robustement documentées dans la littérature mobilisée, plutôt qu'une prétention à l'exhaustivité systémique : la qualification de « lecture systémique » doit donc s'entendre comme une intégration partielle mais explicite des interactions les mieux établies, et non comme une modélisation exhaustive de toutes les combinaisons possibles. Compléter cette cartographie constitue une piste de recherche future explicite.

Les deux relations technologique-financier sont distinguées en raison de leur caractère directionnel : le niveau de maturité technologique influence les possibilités de financement accessibles, tandis que la continuité et la prévisibilité du financement influencent en retour la trajectoire technologique du projet.

Ces interactions ont une implication majeure : ignorer une seule de ces dimensions revient à travailler avec une carte incomplète. Une politique publique qui se concentre exclusivement sur les aspects financiers, sans prendre en compte la qualité des écosystèmes et les capacités organisationnelles, risque de produire des effets inférieurs aux résultats attendus. Une start-up qui optimise son montage financier sans disposer d'une capacité d'absorption suffisante risque de rencontrer des difficultés à convertir les ressources obtenues en avancées technologiques valorisables. C'est précisément pourquoi l'optimisation des investissements en R&D ne peut pas se réduire à l'application d'une recette universelle : elle exige une lecture contextualisée de la configuration spécifique de chaque entreprise à un moment donné de sa trajectoire.

8. Propositions de recherche et discussion

L'analyse croisée des quatre catégories de déterminants et de leurs interactions conduit à formuler quatre propositions de recherche destinées à guider des investigations empiriques futures. Le tableau 9 les synthétise.

Il convient de préciser d'emblée la nature de ces quatre propositions. Les termes de médiation et de modération, empruntés au vocabulaire de l'analyse statistique, sont mobilisés ici dans un sens conceptuel et qualitatif, pour désigner des relations de conditionnement mutuel entre déterminants telles qu'elles ressortent de la littérature mobilisée, et non des effets déjà quantifiés ou estimés. Leur formulation appelle une opérationnalisation empirique ultérieure par exemple à travers des modèles de médiation et de modération statistique appliqués à des données de terrain que le présent article, à vocation théorique et conceptuelle (voir 2.4), n'entreprend pas. Cette précision terminologique vise à éviter toute ambiguïté entre l'énoncé d'une hypothèse théorique et la revendication d'un résultat statistiquement établi.

La proposition P1 affirme que la performance des investissements en R&D est positivement associée à la capacité d'absorption organisationnelle, cette relation étant médiatisée par la qualité du montage financier. L'intuition fondamentale de (Cohen & Levinthal, 1990) est qu'on ne peut valoriser les ressources externes qu'à condition de disposer de la base de connaissances nécessaire pour les identifier, les assimiler et les exploiter. Dans le contexte des start-ups deep-tech, une forte capacité d'absorption permettra de construire des montages hybrides sophistiqués répondant précisément aux profils de risque de différentes catégories de financeurs

et de démontrer aux investisseurs la pertinence scientifique et la viabilité commerciale du projet, réduisant la prime de risque exigée.

Tableau 9 : Propositions de recherche, mécanismes théoriques et fondements bibliographiques

Proposition	Énoncé	Mécanisme théorique sous-jacent	Références mobilisées
P1	La performance des investissements en R&D est positivement associée à la capacité d'absorption organisationnelle, cette relation étant médiatisée par la qualité du montage financier hybride	La capacité d'absorption amplifie le rendement des ressources financières en permettant leur conversion effective en connaissances valorisables	Cohen & Levinthal (1990); Hall & Lerner (2010); Mukherjee et al. (2024)
P2	L'adéquation entre le niveau TRL du projet et la structure de financement est susceptible de conditionner la relation entre investissement et création de valeur	Un décalage crée des pressions temporelles incompatibles avec les exigences scientifiques (ex. : capital-risque sur TRL 2)	Mankins (1995); Henderson & Clark (1990) ; Dixit & Pindyck (1994)
P3	La densité de l'écosystème territorial exerce un effet modérateur sur la relation entre ressources organisationnelles et performance des investissements, particulièrement dans les économies émergentes	Les défaillances de l'écosystème amplifient les contraintes organisationnelles et financières déjà pesantes	Isenberg (2010) ; Autio et al. (2014) ; Ferrary & Granovetter (2009)
P4	La continuité financière exerce un effet positif sur la profondeur des investigations scientifiques et la capacité à maintenir des orientations de long terme, indépendamment du volume total des ressources	La régularité du financement préserve les connaissances tacites et la cohésion des équipes, actifs irremplaçables dans les projets de rupture	Hall & Lerner (2010) ; Loch, De Meyer & Pich (2006) ; Knight (1921)

Source : Auteurs

Il convient de noter que Mukherjee et al. (2024)), mobilisés dans le tableau 9 et dans la discussion des déterminants financiers (voir 7.2) pour étayer les mécanismes de financement hybride, portent empiriquement sur le financement de start-ups d'innovation verte. Leur transposition au champ deep-tech dans son ensemble, bien que plausible au regard de la similarité des mécanismes de financement hybride public-privé en jeu, reste à valider empiriquement plutôt qu'à présumer ; elle constitue à ce titre l'une des priorités du programme de recherche empirique que cet article appelle de ses vœux.

La proposition P2 postule que l'adéquation entre le niveau TRL et la structure de financement est susceptible de conditionner la relation entre investissement et création de valeur. Un décalage génère des inefficacités structurelles bien documentées : un projet à bas TRL financé principalement par du capital-risque sera soumis à des pressions de commercialisation prématurée incompatibles avec la recherche fondamentale (Mankins, 1995). Inversement, un projet arrivé à maturité qui reste dépendant de subventions publiques se prive des bénéfices de l'accompagnement stratégique qu'apporterait un investisseur privé. Cette proposition invite à concevoir la stratégie de financement comme un processus dynamique évoluant en synchronie avec le profil technologique.

La proposition P3 met en lumière le rôle conditionnel de l'écosystème territorial, particulièrement marqué dans les économies émergentes. Dans ces contextes, les défaillances de l'écosystème absence de capital-risque spécialisé, rareté des ingénieurs qualifiés, faiblesse des liens université-industrie amplifient les contraintes organisationnelles et financières au lieu de les compenser (Autio et al., 2014; Isenberg, 2010). Cette proposition invite à ne pas transposer mécaniquement les meilleures pratiques observées dans des écosystèmes matures à des contextes où les conditions structurelles sont fondamentalement différentes.

La proposition P4 met en évidence l'effet spécifique de la continuité financière, distinct du volume total des ressources mobilisées. Deux projets au même budget total mais avec des structures temporelles différentes obtiendront des résultats significativement différents : celui bénéficiant d'un financement régulier maintiendra la cohésion de ses équipes, préservera les connaissances tacites et explorera des voies scientifiques ambitieuses ; celui soumis à des financements discontinus sera contraint à des raccourcis et à des révisions à la baisse de ses ambitions. Cette proposition plaide pour des engagements pluriannuels dans les politiques publiques d'innovation plutôt que pour des subventions ponctuelles de montants élevés.

Au-delà de leur discussion séquentielle, ces quatre propositions entretiennent des relations d'interdépendance qui méritent d'être explicitées, en cohérence avec la lecture systémique défendue en section 7.5. P1 et P2 se renforcent mutuellement : une forte capacité d'absorption (P1) facilite précisément l'ajustement du montage financier au niveau TRL requis par P2, dans la mesure où elle permet à l'équipe de traduire les exigences de chaque financeur en choix techniques adaptés. P3 agit comme un modérateur de second ordre sur P1 et P2 : dans un écosystème territorial appauvri, les mécanismes décrits par ces deux propositions s'exercent avec une intensité réduite, faute de partenaires financiers et technologiques disponibles localement pour les activer. P4, enfin, conditionne la temporalité sur laquelle P1 et P2 peuvent produire leurs effets : une capacité d'absorption ou un ajustement TRL-financement optimaux ne produisent des résultats durables que si la continuité des ressources décrite par P4 est elle-même assurée. Cette lecture croisée suggère que les quatre propositions gagneraient à être examinées conjointement plutôt qu'isolément dans les recherches empiriques futures.

Ces quatre propositions partagent une caractéristique commune qui reflète le choix théorique central de cet article : elles insistent sur des mécanismes d'interaction et de médiation plutôt que sur des effets directs. Ce cadre ouvre des perspectives de recherche empirique largement inexploitées dans les économies émergentes. La plupart des travaux disponibles ont été produits dans des écosystèmes matures ; leur transposition à des contextes où les marchés de capitaux sont moins développés, les politiques d'innovation moins robustes et les infrastructures de soutien moins suffisantes soulève des questions quant à la transférabilité de ces propositions à des contextes institutionnels et financiers différents.

9. Conclusion

Cet article avait pour ambition de proposer une lecture intégrée des déterminants de l'optimisation des investissements en R&D dans les start-ups deep-tech. En articulant quatre dimensions complémentaires autour d'un cadre conceptuel quadridimensionnel, l'analyse de la littérature conduit à considérer que l'efficacité des investissements ne dépend pas d'un facteur isolé, mais d'une configuration contextuelle dans laquelle les dimensions organisationnelle, financière, environnementale et technologique peuvent exercer des effets croisés dont l'intensité varie selon le stade de développement et la nature de l'écosystème.

Sur le plan théorique, la contribution principale est de proposer une lecture intégrée et configurationnelle d'un problème. En identifiant quatre mécanismes d'interaction parmi les six combinaisons possibles entre les quatre dimensions retenues, notamment les relations organisationnel/financier, environnemental/organisationnel et technologique/financier, et en les formalisant dans les tableaux de synthèse, l'article ouvre la voie à des modèles explicatifs plus complets. La mobilisation conjointe de la théorie des parties prenantes, de l'approche par options réelles, de la théorie des capacités d'absorption et des travaux sur les financements hybrides constitue un cadre théorique plus intégré que ceux proposés jusqu'ici.

Sur le plan managérial, l'article invite les dirigeants à adopter une vision intégrée de leurs stratégies d'investissement. L'optimisation ne se résume ni à la maximisation du volume financé ni à l'optimisation du profil de risque technologique, mais prend en compte l'ensemble des dimensions constitutives de la performance. Elle exige une attention soutenue à l'adéquation

entre maturité technologique et structure de financement, à la cohérence de la gouvernance des parties prenantes et à la continuité des ressources dans la durée. Pour les décideurs publics des économies émergentes, l'article souligne l'importance de politiques d'innovation intégrées qui ne se limitent pas aux aspects financiers mais prennent en compte simultanément le développement des écosystèmes, le renforcement des capacités organisationnelles et l'adéquation des instruments aux profils technologiques des projets soutenus.

Ce travail comporte des limites à reconnaître. Le cadre proposé repose sur une revue de littérature théorique non exhaustive, principalement construite à partir de travaux produits dans des contextes de pays développés.

Une limite plus spécifique tient au risque de biais de sélection dans la construction même du cadre quadridimensionnel : les critères de sélection présentés en section 2.2, bien qu'explicités, reposent sur des choix interprétatifs qui ont pu privilégier certains courants théoriques, notamment anglophones et nord-américains, au détriment d'autres cadrages disciplinaires possibles, ainsi que le reconnaît d'ailleurs la troisième limite méthodologique énoncée en section 2.3. Ce risque affecte potentiellement la validité du cadre quadridimensionnel lui-même, et non seulement celle des quatre propositions qui en découlent : une recherche bibliographique mobilisant d'autres sources ou mettant l'accent sur d'autres traditions théoriques aurait pu conduire à retenir des concepts ou des relations complémentaires. Il en résulte que la validation empirique future devrait porter autant sur la pertinence de la structure même du cadre, par exemple via une confrontation à des données qualitatives de terrain, que sur le contenu des propositions qui s'y rattachent.

Les propositions formulées n'ont pas encore été testées empiriquement. Des recherches futures pourront conduire des études de cas comparatives ou des enquêtes longitudinales auprès de start-ups deep-tech dans des contextes institutionnels variés.

Le contexte marocain, déjà situé en introduction comme terrain d'ancrage institutionnel de cette recherche, offre à cet égard un terrain prometteur pour cette validation empirique future : avec son Plan d'Accélération Industrielle, la création de fonds dédiés à l'innovation et la mise en place progressive de dispositifs de financement hybrides dont certains ont été mentionnés en introduction (Fonds Mohammed VI pour l'Investissement, Innov Invest Fund, dispositifs CCG), le Maroc représente un cas exemplaire d'économie émergente en transition vers une économie de l'innovation, dont les spécificités méritent d'être documentées de manière rigoureuse, notamment au regard des propositions P2 et P3, qui concernent directement les économies dont les écosystèmes d'innovation sont encore en cours de constitution.

Références :

- (1). Amram, M., & Kulatilaka, N. (1999). *Real options : Managing strategic investment in an uncertain world*. Harvard Business School Press.
- (2). Autio, E., Kenney, M., Mustar, P., Siegel, D., & Wright, M. (2014). Entrepreneurial innovation : The importance of context. *Research Policy*, 43(7), 1097–1108.
- (3). Bessière, V., & Stéphany, E. (2014). Le financement par le crowdfunding. *Revue française de gestion*, 40(242), 149–161.
- (4). Bouyssou, D., Marchant, T., Pirlot, M., Tsoukiàs, A., & Vincke, P. (2006). *Evaluation and decision models with multiple criteria*. Springer.
- (5). Chesbrough, H. W. (2003). *Open innovation : The new imperative for creating and profiting from technology*. Harvard Business School Press.
- (6). Christenson, D., & Walker, D. H. T. (2004). Understanding the role of vision in project success. *Project Management Journal*, 35(3), 39–52.
- (7). Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity : A new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128–152.

- (8). Cooper, R. G., Edgett, S. J., & Kleinschmidt, E. J. (2001). *Portfolio management for new products* (2e éd.). Perseus Publishing.
- (9). Cumming, D., & Johan, S. (2013). *Venture capital and private equity contracting* (2e éd.). Academic Press.
- (10). Czarnitzki, D., Ebersberger, B., & Fier, A. (2007). The relationship between R&D collaboration, subsidies and R&D performance. *Journal of Applied Econometrics*, 22(7), 1347–1366.
- (11). De la Tour, A., Soussan, P., Harlé, N., & Chevalier, R. (2017). *From tech to deep tech : Fostering collaboration between corporates and startups*. Boston Consulting Group & Hello Tomorrow.
- (12). De Meyer, A., Loch, C. H., & Pich, M. T. (2002). Managing project uncertainty : From variation to chaos. *MIT Sloan Management Review*, 43(2), 60–67.
- (13). Dixit, A. K., & Pindyck, R. S. (1994). *Investment under uncertainty*. Princeton University Press.
- (14). Donaldson, T., & Preston, L. E. (1995). The stakeholder theory of the corporation. *Academy of Management Review*, 20(1), 65–91.
- (15). Ellsberg, D. (1961). Risk, ambiguity, and the Savage axioms. *Quarterly Journal of Economics*, 75(4), 643–669.
- (16). Ferrary, M., & Granovetter, M. (2009). The role of venture capital firms in Silicon Valley's complex innovation network. *Economy and Society*, 38(2), 326–359.
- (17). Freeman, R. E. (1984). *Strategic management : A stakeholder approach*. Pitman.
- (18). Galison, P., & Hevly, B. (1992). *Big science : The growth of large-scale research*. Stanford University Press.
- (19). Godin, B. (2002). *Measuring output : When economics drives science and technology measurements* (Project on the History and Sociology of S&T Statistics, Working Paper). INRS, Montréal.
- (20). Hall, B. H., & Lerner, J. (2010). The financing of R&D and innovation. Dans B. H. Hall & N. Rosenberg (Éds.), *Handbook of the economics of innovation* (Vol. 1, pp. 609–639). Elsevier.
- (21). Henderson, R. M., & Clark, K. B. (1990). Architectural innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 9–30.
- (22). Hounshell, D. A. (1996). The evolution of industrial research in the United States. Dans R. S. Rosenbloom & W. J. Spencer (Éds.), *Engines of innovation* (pp. 13–85). Harvard Business School Press.
- (23). Isenberg, D. J. (2010). How to start an entrepreneurial revolution. *Harvard Business Review*, 88(6), 40–50.
- (24). Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory : An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2), 263–291.
- (25). Kavadias, S., & Chao, R. O. (2006). Resource allocation and new product development portfolio management. Dans C. H. Loch & S. Kavadias (Éds.), *Handbook of new product development research* (pp. 1–25). Elsevier.
- (26). Keynes, J. M. (1936). *The general theory of employment, interest and money*. Macmillan.
- (27). Kline, S. J., & Rosenberg, N. (1986). An overview of innovation. Dans R. Landau & N. Rosenberg (Éds.), *The positive sum strategy* (pp. 275–305). National Academy Press.
- (28). Knight, F. H. (1921). *Risk, uncertainty and profit*. Houghton Mifflin.
- (29). Lane, D. A., & Maxfield, R. R. (2004). Ontological uncertainty and innovation. *Journal of Evolutionary Economics*, 15(1), 3–50.
- (30). Laredo, P. (2007). Revisiting the third mission of universities. *Higher Education Policy*, 20(4), 441–456.

- (31). Laursen, K., & Salter, A. (2006). Open for innovation. *Strategic Management Journal*, 27(2), 131–150.
- (32). Loch, C. H., De Meyer, A., & Pich, M. T. (2006). *Managing the unknown : A new approach to managing high uncertainty and risk in projects*. Wiley.
- (33). Mankins, J. C. (1995). *Technology readiness levels : A white paper*. NASA, Advanced Concepts Office, Office of Space Access and Technology, Washington, DC.
- (34). McGrath, R. G., & MacMillan, I. C. (2000). *The entrepreneurial mindset*. Harvard Business School Press.
- (35). Milliken, F. J. (1987). Three types of perceived uncertainty about the environment. *Academy of Management Review*, 12(1), 133–143.
- (36). Mitchell, R. K., Agle, B. R., & Wood, D. J. (1997). Toward a theory of stakeholder identification and salience. *Academy of Management Review*, 22(4), 853–886.
- (37). Moore, G. A. (1991). *Crossing the chasm*. HarperBusiness.
- (38). Mowery, D. C., & Rosenberg, N. (1989). *Technology and the pursuit of economic growth*. Cambridge University Press.
- (39). Mowery, D. C. (2009). Plus ça change : Industrial R&D in the third industrial revolution. *Industrial and Corporate Change*, 18(1), 1–50.
- (40). Mukherjee, A., Owen, R., Scott, J. M., & Lyon, F. (2024). Financing green innovation startups. *Venture Capital*, 26(2), 1–34.
- (41). Nightingale, P. (1998). A cognitive model of innovation. *Research Policy*, 27(7), 689–709.
- (42). OCDE. (2016). *Manuel de Frascati 2015*. Éditions OCDE.
- (43). Pich, M. T., Loch, C. H., & De Meyer, A. (2002). On uncertainty, ambiguity, and complexity in project management. *Management Science*, 48(8), 1008–1023.
- (44). Porter, M. E. (1986). *L'avantage concurrentiel*. InterEditions. (Éd. Orig. 1985).
- (45). Portincaso, M., de la Tour, A., & Soussan, P. (2019). The dawn of the deep tech ecosystem. Boston Consulting Group & Hello Tomorrow. <https://media-publications.bcg.com/BCG-The-Dawn-of-the-Deep-Tech-Ecosystem-Mar-2019.pdf>.
- (46). Sommer, S. C., & Loch, C. H. (2004). Selectionism and learning in projects with complexity and unforeseeable uncertainty. *Management Science*, 50(10), 1334–1347.
- (47). Sutton, R. I., & Staw, B. M. (1995). What theory is not. *Administrative Science Quarterly*, 40(3), 371–384.
- (48). Tellis, G. J., Prabhu, J. C., & Chandy, R. K. (2009). Radical innovation across nations. *Journal of Marketing*, 73(1), 3–23.
- (49). Tidd, J., & Bessant, J. R. (2021). *Managing innovation : Integrating technological, market and organizational change* (7e éd.). John Wiley & Sons.
- (50). Trigeorgis, L. (1996). *Real options : Managerial flexibility and strategy in resource allocation*. MIT Press.
- (51). West, J., & Bogers, M. (2014). Leveraging external sources of innovation. *Journal of Product Innovation Management*, 31(4), 814–831.
- (52). Whetten, D. A. (1989). What constitutes a theoretical contribution ? *Academy of Management Review*, 14(4), 490–495.
- (53). Williamson, O. E. (1985). *The economic institutions of capitalism*. Free Press.