

PRÉFACE	4
INTRODUCTION	5

RECHERCHE POUR « LUXEMBOURG 2030 »

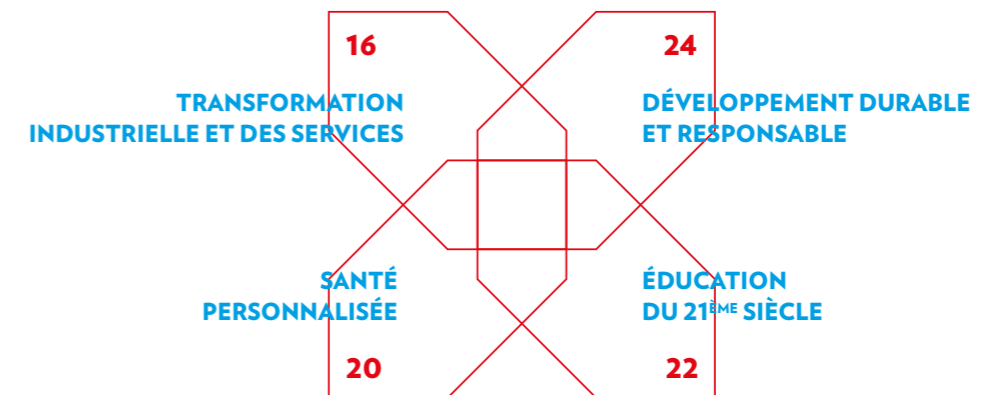
COMMENT REMPLIR LA MISSION **6**

Gouvernance, infrastructures et politiques coordonnées	8
Ancrage dans l'Espace européen de la recherche	8
Sécurité de la recherche	9
Recherche et innovation basée sur des données de qualité	9
La recherche comme moteur de l'innovation dans l'industrie, les services et le secteur public	10
Ancrer la science dans la société	10

MISSION « LUXEMBOURG 2030 »

OÙ INVESTIR **12**

Quatre domaines prioritaires de recherche interdisciplinaires afin de préparer le Luxembourg pour l'avenir	13
--	----



Accélérer la souveraineté numérique à travers l'intelligence artificielle et les technologies quantiques	28
Recherche et innovation au service de la défense	29
Optimiser l'impact de la recherche au Luxembourg grâce à la coordination avec la politique de coopération au développement luxembourgeoise	29
Feuille de route pour le développement ultérieur et l'adaptation de la stratégie nationale de la recherche et de l'innovation	30

PRÉFACE

Le monde dans lequel nous vivons aujourd'hui n'est plus le même qu'en 2020, lorsque la première stratégie nationale de la recherche et de l'innovation a été publiée. Il se trouve dans une phase de transformation profonde, portée par l'émergence de technologies disruptives, au premier rang desquelles figure l'intelligence artificielle.

Nous faisons face également à un environnement géopolitique changeant et à une compétition technologique mondiale accrue. Dans ce contexte, il est essentiel que l'Europe embrasse l'innovation et saisisse les opportunités de cette révolution technologique, comme le souligne le rapport Draghi sur la compétitivité européenne. Il appelle l'Union européenne à dépasser une approche fragmentée et excessivement prudente de l'innovation, pour adopter une véritable stratégie industrielle et technologique commune.

Le Luxembourg a cherché à se positionner comme précurseur d'une telle approche en intégrant ses stratégies nationales en matière d'intelligence artificielle, de technologies quantiques et de données dans une initiative pangouvernementale cohérente visant à accélérer la souveraineté numérique du pays. Les données représentent la matière première de l'innovation numérique, l'intelligence artificielle permet d'en extraire de la valeur, et les technologies quantiques promettent de repousser les limites actuelles du traitement, de la sécurité et de l'analyse de l'information.

Dans cette dynamique, la science joue un rôle central et irremplaçable. La recherche constitue le socle sur lequel reposent les innovations de rupture. En tant que ministre de la Recherche et de l'Enseignement supérieur, je suis fière de constater à quel point le Luxembourg a su bâtir un écosystème de recherche dynamique et attractif. Depuis le début de ce siècle, nous avons investi de manière constante et stratégique pour renforcer les capacités de nos institutions, attirer des talents, et encourager une recherche interdisciplinaire, essentielle pour répondre aux grands défis contemporains.

Si le monde a changé, notre vision « Luxembourg 2030 » d'une société du savoir durable, où la recherche et l'innovation agissent comme moteur du développement économique et sociétal, reste donc intacte. Elle a inspiré la première stratégie nationale de la recherche et de l'innovation et elle se reflète dans cette mise à jour, qui tient compte des développements récents, en particulier en matière d'innovation numérique, tout en s'inscrivant dans la continuité et dans la consolidation des compétences scientifiques développées.

Cette stratégie continuera à vivre et à évoluer dans les années à venir au fil des développements stratégiques et scientifiques afin de garantir que les investissements publics dans la recherche et l'innovation, que le gouvernement s'est engagé à maintenir à un niveau élevé, continuent à contribuer à la dynamisation de notre économie, à l'amélioration de la qualité de vie de nos citoyens et au renforcement de notre souveraineté digitale et technologique.



Stéphanie Obertin
Ministre de la Recherche
et de l'Enseignement
supérieur

INTRODUCTION

Depuis le début du nouveau millénaire, les gouvernements luxembourgeois successifs ont investi considérablement dans la recherche et l'innovation et ont fait de ceux-ci les pierres angulaires de leur vision d'avenir pour le pays. Un écosystème de la recherche attractif et fertile a ainsi vu le jour et s'est construit une reconnaissance internationale dans certains domaines.

Afin de consolider ces réalisations et d'accompagner les activités de recherche et d'innovation de manière qu'elles servent à la réalisation de la vision « Luxembourg 2030 » d'une société du savoir durable, la première stratégie nationale de la recherche et de l'innovation a été adoptée en décembre 2019. Cette stratégie a défini quatre domaines prioritaires de recherche, considérés comme particulièrement importants pour le développement sociétal, écologique et économique du pays. Elle a par ailleurs posé les jalons d'un cadre réglementaire et d'une gouvernance propice à favoriser le développement ciblé de l'écosystème de la recherche.

Le programme gouvernemental 2023-2028 s'inscrit dans la continuité de ces efforts. Le gouvernement s'y engage en effet à « poursuivre l'ambition de soutenir le développement économique, social et écologique de notre société par un engagement fort et conséquent dans l'enseignement supérieur et la recherche ». Le programme gouvernemental prévoit par ailleurs une adaptation régulière de la stratégie nationale de la recherche et de l'innovation, tout en maintenant et en développant les quatre grands domaines de recherche prioritaires et en mettant un accent sur le domaine de l'intelligence artificielle. En outre, le gouvernement s'engage à promouvoir l'innovation afin de positionner durablement le Luxembourg à la pointe des nouvelles technologies, notamment dans le domaine du numérique.

Ce dernier engagement s'est traduit par l'adoption en mai 2025 de stratégies nationales des données, de l'intelligence artificielle (IA) et des technologies quantiques. Pour aligner les efforts publics, le gouvernement

a adopté une approche pangouvernementale, intégrant ses stratégies en matière de technologies de pointe de manière cohérente et transversale dans le cadre de l'initiative stratégique « Accélérer la souveraineté numérique 2030 ». Le fil conducteur à travers ces trois stratégies est fourni par six leviers transverses, dont un est la stimulation de la recherche et de l'innovation, au niveau public comme privé, afin de résoudre des défis sociétaux complexes. Les activités et priorités définies dans ce contexte seront reflétées également dans le cadre de la présente stratégie et feront partie intégrante des sous-domaines définis au sein des quatre grands domaines de recherche prioritaires.

Outre ces évolutions en matière de nouvelles technologies et de souveraineté numérique, le paysage de l'enseignement supérieur et de la recherche est aussi marqué par d'autres développements importants. Citons le rôle stratégique croissant de la recherche dans le secteur de la défense. L'investissement accru dans la recherche et l'innovation liée à la défense reflète une volonté de souveraineté technologique, essentielle pour prévenir les conflits futurs et protéger les infrastructures critiques. Dans ce contexte et compte tenu de l'environnement géopolitique, des considérations liées à la sécurité de la recherche gagnent également en importance.

La présente stratégie vise donc à refléter ces développements, tout en maintenant les principes de gouvernance et conditions cadre ainsi que les quatre domaines de recherche prioritaires définis en 2019.

RECHERCHE POUR « LUXEMBOURG 2030 »

COMMENT REMPLIR LA MISSION

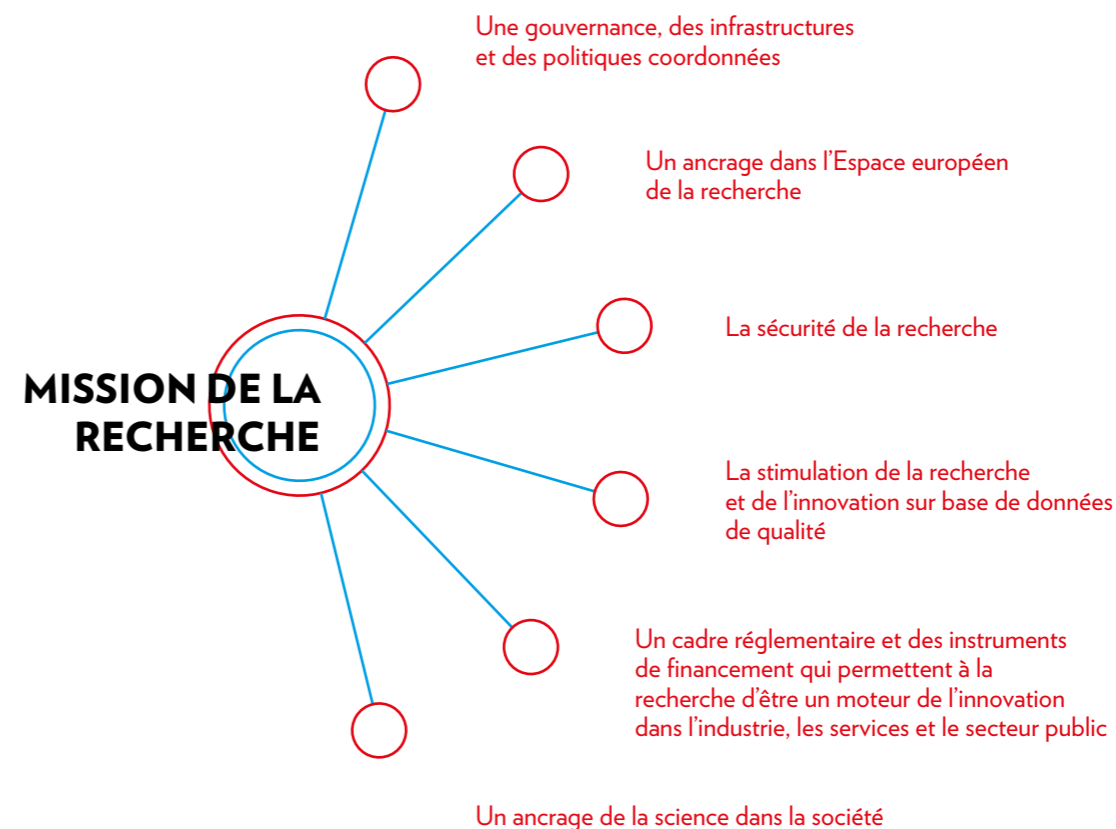
La vision « Luxembourg 2030 », qui a inspiré le développement de la stratégie de la recherche et de l'innovation en 2019 reste inchangée et se voit traduite également dans l'initiative stratégique « Accélérer la souveraineté numérique 2030 ». D'ici 2030, le Luxembourg aspire à devenir un pays d'innovation numérique et technologique caractérisé par une grande agilité, centré sur l'humain, la durabilité et la collaboration à l'international.

Les 17 objectifs de développement durable des Nations Unies, qui visent à relever les défis auxquels nous sommes confrontés au niveau mondial, y compris ceux liés à la pauvreté, aux inégalités, au changement climatique, à la dégradation de l'environnement, à l'installation et au maintien de la paix et à l'accès à la justice pour tous, continueront à nous servir de lignes directrices.

Nous serons guidés également par les orientations politiques de la Commission européenne pour la période 2024-2029, qui s'articulent autour de six grandes priorités visant à rendre l'Union européenne plus forte, plus sûre, plus prospère et plus compétitive face aux défis mondiaux et s'inspirent des rapports de Mario Draghi et Enrico Letta, publiés en 2024, qui plaident pour une action urgente afin de renforcer la compétitivité et la souveraineté de l'UE.

Le secteur de la science, de la recherche et de l'innovation continuera à faire partie intégrante de cette vision. Il doit former et attirer les talents dont une société du savoir a besoin, tout en valorisant la diversité. Il doit également contribuer à assurer un niveau de vie élevé, un environnement sûr et écoresponsable, un système éducatif innovant, de meilleurs soins de santé pour la population, une économie favorable à l'innovation et aux start-ups ainsi qu'une meilleure compréhension de la société luxembourgeoise dans toute sa diversité. La recherche publique a l'ambition de servir les citoyens, l'économie et l'État, en veillant à ce que l'innovation franchisse le pas du laboratoire pour s'ancrer dans l'économie réelle. Dans cet ordre d'idées, un accent particulier sera mis sur la création de valeur ajoutée pour l'économie et la société, en favorisant la diffusion des connaissances, l'innovation ouverte et l'impact social. C'est ainsi que le secteur de la science, de la recherche et de l'innovation peut participer de manière décisive à la réalisation de la vision du Luxembourg pour 2030.

Pour ce faire, les éléments suivants sont cruciaux pour le secteur de la recherche et de l'innovation :



GOVERNANCE, INFRASTRUCTURES ET POLITIQUES COORDONNÉES

Créé en juillet 2019, le comité de coordination stratégique constitue un instrument-clé en vue d'assurer une meilleure coordination entre les principaux acteurs de la recherche publique au Luxembourg et d'optimiser les effets de synergie et de complémentarité entre les institutions. Présidé par le ministère de la Recherche et de l'Enseignement supérieur (MESR), il rassemble les dirigeants de l'Université du Luxembourg, des trois centres de recherche publics et du Fonds National de la Recherche (FNR). Ce comité a contribué à l'actualisation de la présente stratégie et continuera à en suivre le développement futur. En outre, le comité s'efforcera de prendre des initiatives de nature à encourager la collaboration et la coordination entre les quatre institutions de recherche, telles que des infrastructures partagées et coordonnées, des modèles de coopération entre les institutions ou encore une approche commune et le partage de bonnes pratiques en matière de sécurité de la recherche.

Afin de continuer à favoriser l'excellence dans la recherche, le gouvernement misera sur le développement du modèle de financement actuel pour les établissements de recherche publics au moyen de conventions pluriannuelles coordonnées, comprenant des indicateurs de performance clés. Ces derniers seront adaptés de façon à refléter les différentes facettes de la mission décrite dans la présente stratégie.

A côté de l'objectif de l'excellence dans les activités de recherche, un autre moyen important pour faire progresser la recherche et l'innovation et pour rendre le Luxembourg attractif et compétitif au niveau international consiste à disposer d'excellentes infrastructures de recherche. Le Luxembourg a investi dans le développement d'une infrastructure numérique de pointe, notamment des centres de données de niveau I à IV, des solutions cloud et le supercalculateur Meluxina. Le développement des infrastructures nationales de calcul à haute performance (HPC), comprenant les installations des institutions de recherche publiques complétées par le superordinateur Meluxina développé au Luxembourg dans le cadre de l'entreprise commune européenne pour le calcul à haute performance (EuroHPC), continuera à jouer un rôle important. S'y ajoutera un nouveau supercalculateur EuroHPC optimisé pour l'intelligence artificielle, MeluXina-AI, ainsi que la Luxembourg AI Factory associée. En outre, un nouvel ordinateur quantique EuroHPC, MeluXina-Q, intégrera des capacités de calcul quantique au supercalculateur MeluXina existant. Ces infrastructures constitueront des outils essentiels pour les institutions de recherche, qui contribueront activement aux activités dans ce cadre.

Par ailleurs, le Luxembourg continuera à soutenir la Integrated Biobank of Luxembourg (IBBL) du Luxembourg Institute of Health (LIH) et le Luxembourg Clinical and Translational Research Centre (LCTR- Fuerschungsklinik Lëtzebuerg), infrastructure de recherche nationale réunissant cliniciens, chercheurs et patients dans le but de traduire les résultats de la recherche en solutions thérapeutiques et diagnostiques tangibles. Le pays hébergera la plateforme Genome EDIC, qui vise à assurer un accès sécurisé et fédéré aux données génomiques et de santé au moyen d'une architecture décentralisée, fondée sur des nœuds nationaux qui conservent les données localement tout en garantissant une utilisation transfrontalière maîtrisée.

Les infrastructures de recherche liées au domaine spatial, telles que le LunaLab ou la chambre à vide thermique poussièreuse, constituent des atouts essentiels pour la recherche et l'innovation liée à l'industrie spatiale, qu'il conviendra de maintenir. Le Luxembourg continuera également à participer à des infrastructures de recherche au niveau européen telles que ELIXIR, DA-RIAH, SHARE, EATRIS ou PRACE.

En ce qui concerne la culture de la recherche, le gouvernement encouragera et appuiera fortement l'adhésion aux valeurs fondamentales, y compris l'éthique et l'intégrité. Il continuera à soutenir le principe d'une Science ouverte (Open Science) afin de rendre la recherche plus ouverte, internationale et collaborative et pour la rapprocher de la société, tout en étant attentif aux implications pratiques, financières et en matière de sécurité de la recherche de cette approche. Les efforts pour établir une bibliographie scientifique nationale, en collaboration avec la Bibliothèque nationale de Luxembourg, se poursuivront. Seront également poursuivis les efforts visant à accroître l'attractivité des carrières de chercheur au Luxembourg grâce à un système de récompenses et de primes, reconnaissant toute l'étendue des résultats des activités scientifiques, y compris le transfert de connaissances, la formation et le développement des personnes, la promotion du travail d'équipe et de la communication. Des efforts concertés seront déployés pour favoriser l'égalité des sexes dans la recherche publique et pour faire de la diversité et de l'inclusion l'une des priorités. Le gouvernement vise ainsi à positionner le Luxembourg comme un écosystème de recherche particulièrement attractif pour la prochaine génération de talents, féminins et masculins.

ANCRAGE DANS L'ESPACE EUROPÉEN DE LA RECHERCHE

Un petit écosystème de la recherche comme le nôtre ne peut pas fonctionner dans l'isolement. La collaboration au-delà des frontières, en particulier avec les autres pays membres de l'Union européenne, est au cœur de l'excellence de la recherche et de l'innovation. Comme mentionné précédemment, la présente stratégie s'inscrit dans le contexte des orientations politiques de la Commission européenne pour la période 2024-2029. Ces priorités, qui s'inspirent des rapports de Mario Draghi et Enrico Letta, visent à assurer la croissance économique et la compétitivité de l'Union européenne en développant une économie circulaire et résiliente, centrée sur la recherche et l'innovation, tout en renforçant sa souveraineté technologique et sa sécurité. La présente stratégie souscrit pleinement à ces objectifs. Pour les atteindre, il est essentiel de poursuivre la construction d'un Espace européen de la recherche (EER) fort, attractif et tourné vers l'avenir. Le Luxembourg contribuera activement à l'implémentation de l'EER et continuera à soutenir la participation des institutions de recherche au programme cadre pour la recherche et l'innovation, Horizon Europe. Les activités de recherche et d'innovation nationales viseront à soutenir des initiatives européennes, telles que la stratégie de la Commission européenne sur l'intelligence artificielle dans la science ou les initiatives de recherche et d'innovation de la stratégie européenne sur les technologies quantiques.

Au-delà de l'Europe, le Luxembourg reste ouvert aux partenariats de recherche avec des nations partageant les mêmes valeurs et principes.

SÉCURITÉ DE LA RECHERCHE

La coopération internationale est au cœur de l'excellence en matière de recherche et d'innovation. Compte tenu de la situation géopolitique actuelle, les chercheurs et les institutions de recherche se voient cependant de plus en plus exposés à des risques lorsqu'ils collaborent à l'international, qu'il s'agisse de risques de fuite de connaissances et de technologies sensibles, de problèmes d'ingérence étrangère ou d'influence maligne ou encore d'utilisation abusive des résultats de recherche. Limiter ces risques devient d'autant plus important dans le contexte de la croissance des activités de recherche et d'innovation dans le domaine de la défense.

Le Conseil de l'Union européenne a adopté en mai 2024 une Recommandation sur le renforcement de la sécurité de la recherche, visant à fournir des orientations quant aux mesures que pourraient prendre les États membres, la Commission européenne et les institutions de recherche pour faire face aux risques en matière de sécurité de la recherche découlant de la coopération internationale. En ligne avec cette recommandation, les procédures en matière de sécurité de la recherche seront renforcées au Luxembourg. Une attention accrue sera accordée aux procédures de gestion des risques et aux mesures de sensibilisation de la communauté académique aux risques en matière de sécurité de la recherche, dans le respect de la liberté académique et de l'autonomie des institutions de recherche, et sans remettre en cause le principe d'ouverture de l'environnement de la recherche.

RECHERCHE ET INNOVATION BASÉE SUR DES DONNÉES DE QUALITÉ

Conformément à la Stratégie nationale des données, le Luxembourg vise à stimuler la recherche et promouvoir l'innovation sur base de données de haute qualité. Il aspire à créer un écosystème de recherche dynamique fondé sur l'excellence des données en établissant une infrastructure nationale robuste qui garantit la reproductibilité et la réutilisation des données de recherche. Parallèlement, le pays s'engage à développer des espaces de données qui favorisent le partage et la collaboration entre les différents acteurs de l'écosystème, tout en établissant des mécanismes pour encourager les chercheurs à partager leurs données selon les principes FAIR, soit Faciles à trouver, Accessibles, Interopérables et Réutilisables. Ces espaces de données offrent une structure claire permettant aux acteurs d'un même secteur ou de secteurs différents de partager, échanger et collaborer sur les données de manière plus efficace, tout en respectant les normes et standards en vigueur.

Le Luxembourg National Data Service (LNDS) continuera à jouer un rôle essentiel dans ce contexte en facilitant la création de valeur à partir de l'utilisation secondaire des données et en soutenant le partage et la réutilisation des données du secteur public de manière fiable.

Le Luxembourg cherchera également à se positionner comme nœud central pour l'échange international de données et comme pôle d'excellence de l'innovation et de la création de valeur axés sur les données. Si au niveau international, vu sa taille, il n'est souvent pas en mesure de rivaliser en termes de volume de données, il misera sur son expertise dans le domaine ainsi que sur sa gouvernance de données centrale et efficace pour faciliter et accélérer l'accès aux données et de ce fait, leur valorisation dans un environnement de confiance. Il participera activement à la création et éventuellement à l'hébergement d'espaces européens communs de données.

A cette fin, le cadre réglementaire luxembourgeois garantit une gouvernance centralisée, unique et efficace en matière de gestion et de réutilisation des données du secteur public dans un environnement de traitement sécurisé. Dans un objectif d'harmonisation, le Gouvernement veillera à aligner, dans le cadre de la mise en œuvre des espaces européens communs de données, les procédures et la désignation de l'Autorité luxembourgeoise des données au système instauré par la loi du 19 décembre 2025 portant création du Commissariat du Gouvernement à la souveraineté des données. Cette gouvernance centralisée profite à l'écosystème de la recherche scientifique grâce à l'accès efficient, sécurisée et harmonisé aux données en vue de leur réutilisation.

LA RECHERCHE COMME MOTEUR DE L'INNOVATION DANS L'INDUSTRIE, LES SERVICES ET LE SECTEUR PUBLICS

Le gouvernement luxembourgeois a fait de la recherche et de l'innovation les pierres angulaires de sa vision d'avenir pour le pays. Pour que la recherche devienne un moteur de diversification économique et d'innovation dans l'industrie, les services et le secteur public, il est essentiel de disposer d'un cadre réglementaire approprié.

Le gouvernement continuera à encourager les partenariats public-privé et public-public, entre autres par le biais des instruments de financement du Fonds National de la Recherche (FNR). Des appels à projets collaboratifs entre des organismes de recherche publics et des entreprises seront organisés en collaboration entre le FNR et le Ministère de l'Économie sur base d'un planning pluriannuel, avec la contribution éventuelle d'autres ministères selon les thématiques choisies.

Le gouvernement vise également à accroître le nombre et la qualité de nouvelles entreprises dont la proposition de valeur est basée sur des résultats de recherche produits au Luxembourg. Pour ce faire, une approche cohérente pour le transfert de propriété intellectuelle des institutions de recherche vers les entreprises startup sera élaborée. Un rôle important reviendra dans ce contexte au Deep Tech Lab (DTL), annoncé dans le cadre de l'initiative stratégique « Accélérer la souveraineté numérique 2030 ». Le DTL vise à stimuler la valorisation économique des activités de recherche en matière de Deep Tech au Luxembourg, en soutenant et en facilitant le développement de solutions innovantes. Il permettra de fédérer l'expertise nationale en matière de technologies de pointe, notamment liées à l'intelligence artificielle et aux technologies quantiques, et de participer aux efforts d'attraction, de rétention et de développement des talents.

ANCRRER LA SCIENCE DANS LA SOCIÉTÉ

Dans le but d'établir le Luxembourg comme société du savoir de premier plan, le gouvernement vise également à ancrer solidement la science dans la société et à favoriser l'impact sociétal. Outre la poursuite et le développement d'une variété d'activités pour la promotion scientifique, l'implication du public sera fortement encouragée en tant que partie intégrante de toutes les activités de recherche. La promotion de la science auprès des acteurs de l'économie et de la société ainsi que la sensibilisation quant à l'importance du savoir et de l'innovation sont des facteurs essentiels qui seront favorisés, de même que l'interaction entre les chercheurs et les décideurs afin d'encourager l'élaboration de politiques fondées sur des données probantes.

MISSION « LUXEMBOURG 2030 »

OÙ INVESTIR

Comme souligné ci-dessus, le gouvernement entend, en ligne avec son programme gouvernemental 2023-2028, continuer à soutenir de manière conséquente la recherche et l'innovation en tant que moteur pour le développement économique, sociétal et écologique du pays. Il continuera donc d'investir de manière ciblée dans la recherche publique dans le but de développer et consolider l'écosystème de la recherche pour lui permettre de produire d'excellents résultats scientifiques, de le rendre visible à l'échelle internationale et attrayant pour les chercheurs talentueux et en même temps de servir les objectifs à moyen et à long terme du pays, qu'ils soient écologiques, sociétaux ou économiques. La présente stratégie de recherche et d'innovation décrit les domaines dans lesquels il est jugé important d'investir afin d'atteindre ce double objectif.

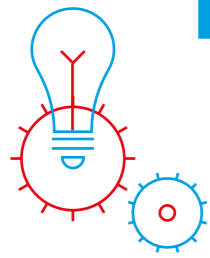
La stratégie nationale de la recherche et de l'innovation sera principalement mise en œuvre par le biais des programmes de financement du Fonds National de la Recherche (FNR), et plus particulièrement à travers le programme de recherche thématique pluriannuel CORE, dont les domaines prioritaires seront alignés sur la présente stratégie, mais aussi par le biais d'initiatives visant à attirer des talents, tels que PEARL et ATTRACT. Les institutions de recherche pourront par ailleurs être appelées à contribuer à des missions spécifiques dans des domaines stratégiques, tels que les projets phares définis dans le cadre de l'initiative stratégique « Accélérer la Souveraineté Numérique 2030 » (cf. Section Accélérer la souveraineté numérique à travers l'intelligence artificielle).

La présente stratégie ne fait pas de distinction entre la recherche fondamentale et la recherche appliquée, puisque ces deux types de recherche seront soutenus dans les domaines prioritaires. Il convient également de mentionner que ces domaines prioritaires ne seront pas les seuls domaines dans lesquels des activités de recherche seront conduites et soutenues au Luxembourg. L'écosystème public de la recherche luxembourgeoise est composé d'institutions autonomes qui bénéficient de dotations globales substantielles accordées par le gouvernement. Toutes ces institutions développeront ou ont développé dans le cadre de leur autonomie des stratégies institutionnelles qui devraient évidemment tenir compte du cadre fourni par la stratégie nationale de la recherche et de l'innovation mais qui peuvent et devraient également établir des priorités institutionnelles qui élargiront utilement ce cadre.

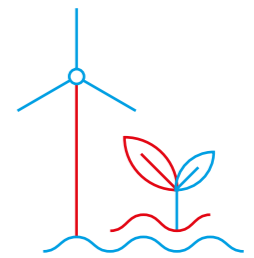
QUATRE DOMAINES PRIORITAIRES DE RECHERCHE INTERDISCIPLINAIRES AFIN DE PRÉPARER LE LUXEMBOURG POUR L'AVENIR

Au plus haut niveau, la stratégie nationale de la recherche et de l'innovation définit quatre domaines prioritaires de recherche, qui revêtent une importance particulière pour le développement sociétal, écologique et économique du pays. Ces domaines ne sont pas considérés comme distincts et indépendants les uns des autres mais comme des domaines qui s'influencent mutuellement, de sorte que les sous-thèmes qui définissent chaque domaine peuvent également avoir des ramifications dans d'autres domaines. La mise en œuvre de la stratégie de recherche mettra donc un accent particulier sur les projets interdisciplinaires, qui tiennent compte du fait que chacun des quatre grands domaines prioritaires de recherche bénéficiera des résultats et des projets menés dans un ou plusieurs des autres domaines. Les quatre domaines prioritaires de recherche retenus devraient garantir qu'au-delà d'un développement de son PIB, le Luxembourg puisse assurer un développement continu et durable du bien-être de sa population, incluant notamment les facteurs sanitaires, environnementaux et éducatifs.

**TRANSFORMATION
INDUSTRIELLE
ET DES SERVICES**



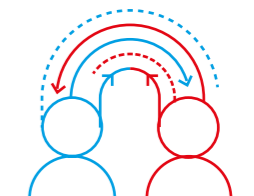
**DÉVELOPPEMENT
DURABLE ET
RESPONSABLE**

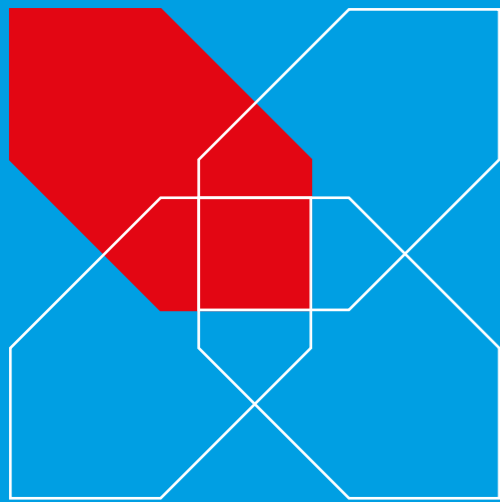


**SANTÉ
PERSONNALISÉE**

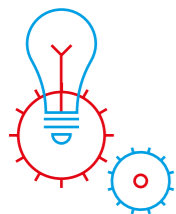


**ÉDUCATION
DU 21^e SIÈCLE**





TRANSFORMATION INDUSTRIELLE ET DES SERVICES



Le Luxembourg a l'ambition de devenir une économie axée sur les connaissances et l'exploitation des données, utilisant la numérisation comme catalyseur pour diversifier sa base économique et créer des services à forte valeur ajoutée. Cette transformation nécessite une base scientifique solide pour guider l'innovation et garantir la compétitivité, la résilience et la durabilité dans un secteur industriel et tertiaire en rapide évolution.

La recherche menée dans ce domaine prioritaire renforcera les domaines industriels stratégiques du Luxembourg, tels que les matériaux avancés, les technologies spatiales, l'automatisation et la robotique, tout en intégrant l'intelligence artificielle, les technologies quantiques et l'analyse avancée des données comme catalyseurs transversaux. Ces technologies accéléreront les processus de modélisation, de simulation et d'optimisation, amélioreront l'automatisation et ouvriront de

nouvelles possibilités pour l'ingénierie industrielle et l'innovation dans les services.

Afin de construire un écosystème technologique de confiance et centré sur l'humain, le Luxembourg doit relever les défis liés aux matériaux, au matériel informatique, aux logiciels, aux technologies de communication et de données, tout en garantissant la sécurité et la confiance dans des environnements où la technologie interagit et collabore de plus en plus avec les humains.

Ainsi, le développement récent de jumeaux numériques dans des domaines tels que les villes intelligentes, la gestion intelligente de l'énergie ou les systèmes climatiques favorise l'émergence d'une nouvelle génération de systèmes cognitifs cyber-physiques. Ces systèmes sont de plus en plus centrés sur l'utilisateur et favorisent la collaboration homme-machine, essentielle pour la prochaine révolution industrielle. La nouvelle robotique collaborative autonome et les technologies intelligentes adaptatives doivent comprendre les facteurs humains. Le couplage de l'IA avec les systèmes cyber-physiques et les jumeaux numériques ouvre de nouvelles possibilités en matière de maintenance prédictive, d'optimisation en temps réel et de processus industriels résilients, ouvrant la voie à des environnements de production plus intelligents et plus durables.

Ces systèmes futurs nécessitent des systèmes informatiques et de communication de nouvelle génération, ainsi que des mesures de cybersécurité indispensables pour une économie axée sur les données, mais protégeant la vie privée dans un monde de plus en plus connecté.

Le Luxembourg fera progresser les réseaux sans fil de nouvelle génération, notamment les réseaux mobiles terrestres, radio et satellitaires, soutenus par une optimisation basée sur l'IA et des architectures définies par logiciel pour les systèmes au-delà de la 6G. Ces efforts permettront de mettre en place des infrastructures programmables et distribuées reliant les appareils, les ressources périphériques et le cloud, améliorant ainsi l'efficacité, la fiabilité et la sécurité sur l'ensemble du continuum périphérique-cloud. Des applications telles que la mobilité connectée, l'industrie intelligente et les services critiques bénéficieront de ces capacités. Parallèlement, le Luxembourg renforcera son rôle dans le domaine du calcul de haute performance grâce à l'infrastructure de l'entreprise commune européenne EuroHPC, en encourageant la recherche sur les systèmes exascale, les architectures correspondantes et les centres de données à haute efficacité énergétique. Cela inclut l'optimisation à tous les niveaux de la pile informatique, des algorithmes à la planification des flux de travail et au transfert de données, tout en favorisant la durabilité et les pratiques logicielles ouvertes.

Un accent particulier sera également mis à l'avenir sur le développement des technologies quantiques. La stratégie du Luxembourg en matière de technologies quantiques, publiée en mai 2025 dans le cadre de l'initiative stratégique « Accélérer la souveraineté numérique 2030 », définit des mesures et objectifs concrets visant à faire des technologies quantiques un moteur d'excellence scientifique et de progrès technologique au Luxembourg. Comme priorités clés de la recherche, elle identifie en particulier l'informatique et les algorithmes quantiques, les réseaux de communication quantique ainsi que la cryptographie (post-)quantique. Le développement et l'adoption de ces technologies auront un impact majeur sur l'évolution des systèmes autonomes, de la robotique, des systèmes informatiques et de communication de nouvelle génération, des télécommunications spatiales ainsi que de la science des matériaux, et auront ainsi un impact considérable sur la transformation industrielle et des services. S'inscrivant dans la lignée de ces orientations et objectifs, la présente straté-

gie intègre les technologies quantiques dans la rubrique « Futurs systèmes informatiques et de communication » (voir ci-dessous).

L'ingénierie logicielle est intégrée comme nouveau sous-domaine dans la présente stratégie, en mettant l'accent sur le développement de logiciels sécurisés, fiables et durables pour des secteurs critiques tels que la finance, les systèmes autonomes ou la mobilité. Elle promeut l'ingénierie augmentée par l'IA et les sciences de l'ingénierie basées sur l'IA, tout en relevant les défis posés par les systèmes basés sur l'IA, l'IA générative et les systèmes agentifs. La recherche dans le domaine de l'ingénierie logicielle durable étudie comment améliorer l'efficacité énergétique, optimiser l'utilisation des ressources et, par conséquent, réduire les émissions de carbone tout au long du cycle de vie des logiciels. La recherche garantit que les résultats scientifiques et les systèmes logiciels peuvent être reproduits et validés de manière fiable, favorisant ainsi la transparence et la confiance dans les environnements complexes actuels basés sur l'IA. Les logiciels doivent également contribuer à un développement sociétal durable en intégrant des principes d'équité et de respect des réglementations telles que le RGPD et le règlement européen sur l'intelligence artificielle. La recherche examine comment les systèmes logiciels quantiques et hybrides quantiques/classiques sont conçus, mis en œuvre et testés dans le respect d'aspects éthiques et sociotechniques.

Aujourd'hui, le Luxembourg dispose d'une solide expertise en matière d'instrumentation scientifique et de caractérisation avancée des matériaux, ce qui permet d'étudier la matière à l'échelle atomique comme à l'échelle macroscopique et de soutenir des applications allant des sciences environnementales à la biotechnologie. Ces capacités ouvrent des perspectives dans les domaines des technologies quantiques, de la surveillance environnementale, des diagnostics de santé et de la recherche spatiale. En outre, la recherche dans le domaine de la science et de la technologie des matériaux doit aller au-delà de la fonctionnalité des matériaux et inclure également la durabilité tout au long du processus d'approvisionnement, de transformation, d'utilisation et d'élimination.

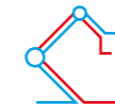
La recherche dans le domaine des télécommunications spatiales, de l'observation de la Terre et des ressources spatiales se concentre sur les technologies de détection de nouvelle génération et les systèmes multiscalaires

intégrés, combinant des mesures locales à haute résolution avec des plateformes de télédétection à grande échelle. La combinaison de ces flux de données avec l'IA, l'apprentissage automatique et l'analyse de Big Data permet la surveillance en temps réel, la modélisation prédictive et la prise de décision pour les systèmes spatiaux et terrestres complexes. Le Luxembourg fera également progresser les technologies d'exploration et d'utilisation des ressources spatiales, de la prospection à la production, y compris les outils permettant d'identifier et d'extraire les ressources sur la Lune, Mars et les astéroïdes. De plus, la durabilité est au cœur de la recherche spatiale, avec des concepts zéro déchet et la circularité dans les environnements spatiaux, et ces innovations ont des applications directes sur Terre.

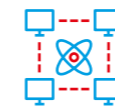
La recherche et l'innovation dans le domaine des technologies fintech/regtech se concentrent sur la mise en œuvre de la conformité réglementaire et le développement de méthodes avancées d'analyse de l'impact des changements réglementaires, afin de garantir que les institutions financières puissent s'adapter efficacement à l'évolution des cadres juridiques. Cela comprend la modélisation des données financières à l'aide de modèles novateurs et leur calibrage, ainsi que la mise en place de techniques statistiques robustes pour l'estimation des modèles financiers. Ces capacités sont essentielles pour la gestion des risques, la tarification et les prévisions dans des écosystèmes financiers complexes. Les technologies transformatrices telles que l'IA jouent un rôle croissant dans la détection des fraudes, la notation de crédit et les services financiers personnalisés, tandis que les portefeuilles d'identité numérique deviennent essentiels pour des écosystèmes financiers sécurisés et centrés sur l'utilisateur. En combinant l'analyse basée sur l'IA avec l'automatisation de la conformité et la gestion des identités, le Luxembourg peut renforcer la confiance, la transparence et la résilience non seulement dans le secteur financier, mais aussi dans le secteur eGov, améliorant ainsi l'efficacité et la transparence des services publics.

Le renforcement des infrastructures nationales de données et l'intégration d'analyses de données avancées à l'aide du calcul haute performance seront essentiels pour maintenir le leadership du Luxembourg dans ces domaines. Ces infrastructures permettront également au Luxembourg de se joindre à, voire de diriger, des initiatives européennes telles que les EDIC (Consortium pour une infrastructure numérique européenne), en particulier Genome EDIC que le Luxembourg s'apprête à héberger.

En intégrant des technologies durables et de pointe ainsi que des capacités avancées en matière de données dans l'industrie et les services, le Luxembourg ne se contentera pas de s'adapter aux mutations technologiques mondiales, mais les façonnera activement, favorisant ainsi une croissance durable et la résilience de son économie.



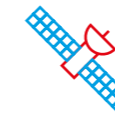
Systèmes autonomes et intelligents, robotique pour la Terre et l'espace



Futurs systèmes informatiques et de communication, ordinateurs et réseaux quantiques



Ingénierie logicielle



Télécommunications spatiales, observation de la Terre et ressources spatiale



Science et technologie des matériaux



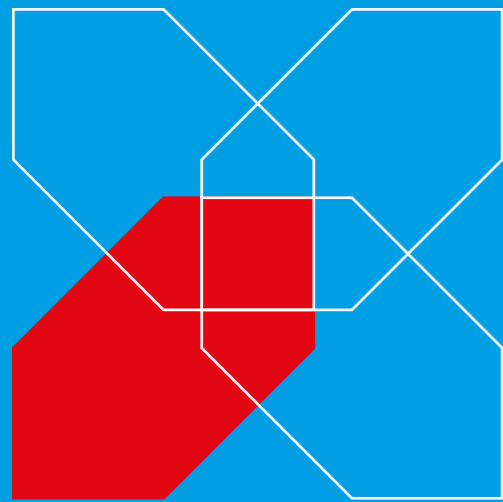
Fintech/Regtech et applications transformatives des technologies



Outils fondamentaux, modélisation et simulation basées sur les données



Économie fiable axée sur les données et systèmes critiques



SANTÉ PERSONNALISÉE



La santé est un indicateur clé du bien-être sociétal, et le Luxembourg a l'ambition d'offrir d'excellents soins de santé à sa population tout en se positionnant comme chef de file dans l'adoption de technologies de pointe dans le domaine de la santé. Le pays aspire en particulier à être un des pays précurseurs au niveau mondial dans le domaine de la médecine numérique personnalisée axée sur les données. Il s'agit d'exploiter la génomique, l'analyse avancée des données et l'intelligence artificielle pour adapter la prévention, le diagnostic et le traitement aux besoins individuels. Ce changement de paradigme signifie que les soins de santé ne suivent plus une approche « universelle » pour tous, mais que des solutions de précision sont recherchées, qui permettent d'améliorer les résultats et la qualité de vie des patients.

Pour réaliser cette ambition, le pays a besoin d'une recherche biomédicale qui profite directement aux pa-

tients et qui renforce les fondements d'un système de santé innovant, durable et efficace. La médecine translationnelle jouera un rôle central pour combler le fossé entre les découvertes en laboratoire et les applications cliniques, en veillant à ce que les progrès scientifiques se traduisent par des améliorations tangibles dans les soins aux patients. La recherche menée au Luxembourg mettra donc un focus sur l'intégration des données cliniques, des informations génétiques et des technologies de santé numériques afin d'accélérer l'innovation et de fournir des solutions centrées sur le patient. L'un des principaux catalyseurs de cette vision sera le développement d'une plateforme nationale de données génomiques, offrant un accès sécurisé, interopérable et géré de manière éthique aux informations génomiques à des fins de recherche et d'utilisation clinique.

Cette vision de la santé dépasse les dimensions biologiques et médicales pour inclure des facteurs socio-économiques et comportementaux, pris en compte tout au long de la vie. En adoptant une perspective holistique, le Luxembourg cherche à mettre l'accent sur la prévention, l'intervention précoce et le changement de comportement comme éléments clés des soins de santé personnalisés. La recherche explorera comment le mode de vie, l'environnement et les déterminants sociaux interagissent avec les facteurs biologiques, permettant ainsi

de mettre en place des stratégies plus complètes pour améliorer la santé de la population.

À cette fin, les liens avec d'autres domaines, en particulier les sciences sociales et environnementales, la santé publique et l'économie de la santé, sont essentiels pour approfondir la compréhension de l'apparition et de la progression des maladies. Cette approche interdisciplinaire accélérera la croissance du domaine et favorisera la collaboration entre la recherche biomédicale et d'autres domaines, notamment la surveillance de l'exposition aux substances chimiques (tels que les polluants organiques persistants, les perturbateurs endocriniens et les produits phytosanitaires) et à la pollution (air, bruit, etc.).

L'économie de la santé jouera un rôle clé dans l'évaluation du rapport coût-efficacité, de l'allocation des ressources et de la durabilité des solutions de soins de santé personnalisés. La recherche devrait tenir compte explicitement des facteurs socio-économiques et de l'influence des environnements bâtis et naturels, afin de garantir que les politiques et les interventions en matière de santé soient à la fois efficaces et équitables.

Une priorité complémentaire est l'évaluation de la performance des systèmes de santé, qui examine comment les modalités de financement, d'achat et de prestation affectent l'équité, la qualité et l'efficacité. Ce thème comprend la recherche basée sur l'observation et l'intervention et vise à développer des méthodes qui traduisent directement la recherche en impact sur les patients grâce à des essais cliniques novateurs et avancés et à l'application de techniques avancées d'inférence causale utilisant des données d'observation. En reliant l'évaluation des politiques à l'innovation clinique, le Luxembourg veillera à ce que les réformes des systèmes de santé soient fondées sur des données probantes et alignées sur les besoins des patients.

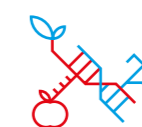
Ce sujet nécessite également des approches de recherche hautement interdisciplinaires associant des experts en TIC et en biomédecine afin de favoriser la compréhension mutuelle des besoins et de garantir que les solutions technologiques sont adaptées aux besoins de la biomédecine. Une telle collaboration permettra une utilisation secondaire sécurisée des données de santé pour surveiller les performances du système de santé et la qualité des soins, tout en soutenant l'innovation dans les outils de santé numériques et l'analyse basée sur l'IA. En combinant l'expertise en TIC et les connaissances biomédicales, le Luxembourg peut créer

des solutions intégrées et fiables, qui améliorent les résultats pour les patients et renforcent la résilience de son système de santé.

L'amélioration de la santé individuelle est le principal impact attendu, mais elle ne dépend pas uniquement des données. Il faut également prendre en considération les aspects sociétaux, économiques, juridiques et réglementaires de la santé numérique pour assurer une utilisation efficace des données de santé numériques dans le système de santé luxembourgeois.



Systèmes biomédicaux complexes – données et modèles



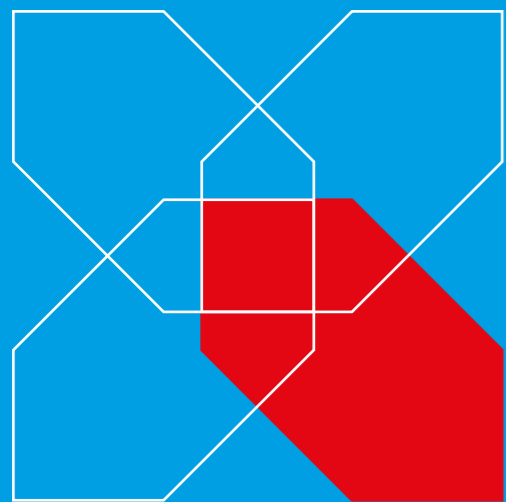
Médecine de précision, y compris facteurs environnementaux, socio-économiques et liés au mode de vie



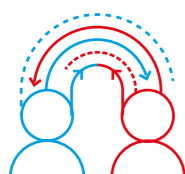
Compréhension, prévention et traitement de la transition entre santé et maladie



Soins de santé basés sur les données



L'ÉDUCATION DU 21^e SIÈCLE



L'éducation et la formation restent une pierre angulaire pour le bien-être d'une société, car elles façonnent les opportunités d'emploi, l'engagement civique et le fonctionnement de l'économie. Tout au long du 21^e siècle, l'éducation connaîtra de profondes transformations sous l'effet de multiples facteurs. La numérisation rapide accélère la création de nouveaux profils d'emploi tout en rendant d'autres obsolètes. Le renforcement des compétences (upskilling) et la reconversion (reskilling) deviennent donc essentiels pour les citoyens luxembourgeois. Ce rythme des développements technologiques exige un suivi continu de l'écart de compétences et une adaptation rapide des systèmes d'éducation et de formation à des profils de compétences dynamiques.

L'apprentissage et l'évaluation assistés par la technologie ont évolué au cours des deux dernières décennies pour devenir un domaine interdisciplinaire reliant la psycho-

logie de l'éducation, la pédagogie et l'innovation numérique. Ils mettent l'accent sur l'intégration, sur base de données, d'outils technologiques à des méthodes d'enseignement et d'évaluation efficaces. Dans un contexte d'évolution technologique rapide, notamment en matière d'IA, d'IoT, de réalité virtuelle et de connectivité, ces technologies offrent des possibilités de transformer l'éducation et donc de proposer des services plus personnalisés. Cependant, elles soulèvent également des défis tels que les préoccupations éthiques, les obstacles à l'adoption et le risque d'une fracture numérique.

La main-d'œuvre de demain devra être équipée d'un mélange dynamique de compétences transversales et émergentes, notamment une pensée analytique et créative, des connaissances technologiques, des capacités d'adaptation et de résilience, ainsi que des compétences sociales et interculturelles. L'apprentissage tout au long de la vie évolue d'un modèle axé sur la mise à jour des compétences existantes vers un modèle exigeant l'acquisition de compétences entièrement nouvelles dans des délais courts, reflétant des changements fondamentaux dans les parcours professionnels. Ces défis s'ajoutent aux priorités existantes visant à offrir une éducation de haute qualité et équitable à une population diversifiée et multilingue d'élèves et d'apprenants.

L'apprentissage dans une société multilingue et diversifiée nécessite des approches éducatives inclusives qui considèrent la diversité culturelle et linguistique comme un atout. Les écoles et les programmes de formation doivent intégrer la sensibilisation aux langues et les compétences interculturelles aux côtés des compétences académiques et numériques de base, afin que la diversité devienne un atout plutôt qu'un obstacle. L'apprentissage assisté par la technologie peut contribuer à atteindre cet objectif en réduisant la barrière linguistique, en permettant un accès équitable aux ressources et en proposant des parcours d'apprentissage personnalisés adaptés aux connaissances préexistantes, aux niveaux de compétence et aux besoins de chacun.

L'IA transforme l'apprentissage et l'évaluation assistés par la technologie en permettant des expériences d'apprentissage personnalisées grâce à la création de contenus adaptés aux besoins et aux progrès individuels. Elle soutient les enseignants en automatisant les plans de cours, les tests et les ressources multimédias, tout en fournissant aux apprenants un retour d'information instantané et des explications alternatives via des systèmes de tutorat intelligents. En outre, l'IA générative peut améliorer l'accessibilité grâce à la traduction en temps réel et à l'assistance linguistique, créer des simulations immersives pour la formation pratique et faciliter l'évaluation formative, rendant l'éducation plus attrayante, inclusive et efficace.

À mesure que l'automatisation et l'IA remodelent les profils professionnels, la capacité à apprendre en continu et à s'adapter rapidement devient essentielle. Le renforcement des compétences et la reconversion ne sont plus facultatifs, mais constituent des stratégies essentielles pour que les individus et les organisations restent compétitifs, en garantissant que les travailleurs puissent s'engager dans un apprentissage tout au long de la vie et s'épanouir dans une économie caractérisée par des changements technologiques et structurels rapides.

En outre, le Luxembourg vise à se positionner comme un leader dans le domaine de la formation des adultes en développant des programmes de recherche et des plateformes techniques qui, d'une part, permettent d'analyser les déficits et les besoins en compétences de la main-d'œuvre luxembourgeoise et, d'autre part, recommandent des mesures de renforcement des compétences et de reconversion pour y remédier.



Environnements
d'apprentissage et
d'évaluation numériques
et innovants



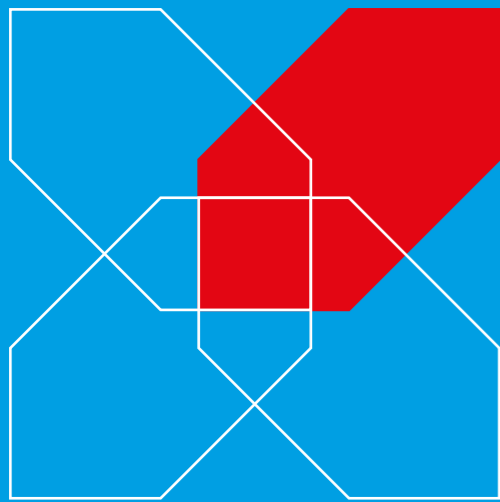
Apprentissage dans une
société multilingue et diverse



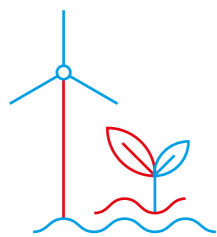
Égalité des chances
en matière d'éducation



Éducation des adultes,
renforcement des
compétences et reconversion
(up/re-skilling) et
apprentissage tout au long
de la vie



DÉVELOPPEMENT DURABLE ET RESPONSABLE



Le Luxembourg souscrit pleinement à l'Agenda 2030 des Nations unies et à ses objectifs de développement durable. Les activités de recherche du pays contribueront activement à la réalisation de ces objectifs, conformément aux dix domaines prioritaires du 3e Plan national pour le développement durable. Cet engagement se reflète dans quatre domaines de recherche clés qui abordent les dimensions écologiques, sociales, économiques et réglementaires de la durabilité.

La transformation numérique et la durabilité sont étroitement liées. Les technologies émergentes telles que l'intelligence artificielle, l'analyse de Big Data et les systèmes intelligents offrent des outils puissants pour accélérer la transition écologique. Les solutions numériques permettent de surveiller la consommation d'énergie en temps réel, d'assurer la maintenance prédictive des infrastructures et d'optimiser l'utilisation des ressources

dans tous les secteurs. Elles soutiennent également le développement de réseaux intelligents, de systèmes de mobilité intelligents et d'une agriculture de précision, qui contribuent tous à réduire les émissions et à accroître la résilience. En même temps, la numérisation doit être guidée par des principes éthiques et une gouvernance solide afin de garantir que le progrès technologique serve les objectifs environnementaux sans compromettre le respect de la vie privée ou l'équité sociale.

La durabilité n'est pas seulement un défi national, mais aussi une responsabilité mondiale. Le Luxembourg reconnaît que l'impact sociétal et la coopération internationale sont essentiels pour réaliser des progrès significatifs. La recherche portera donc sur la manière dont les politiques et les innovations peuvent renforcer la cohésion sociale, réduire les inégalités et favoriser une croissance inclusive. Le Luxembourg collaborera activement avec ses partenaires européens et internationaux afin de partager ses connaissances, d'harmoniser les normes et de développer des solutions communes pour l'adaptation au changement climatique, l'atténuation des changements climatiques, la protection de la biodiversité et la finance durable. Ces partenariats amplifieront la contribution du pays aux efforts mondiaux en matière de durabilité tout en renforçant son rôle de pôle d'innovation responsable.

Dans le contexte du changement climatique, le Luxembourg aspire à devenir un pays modèle pour la transition verte, en mettant l'accent sur l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables, l'hydrogène renouvelable, le captage et le stockage du carbone (CSC) ainsi que le captage et l'utilisation du carbone (CUC) et l'élimination du dioxyde de carbone (EDC). La recherche se concentrera sur la gestion intelligente de l'énergie et le développement urbain durable, intégrant les énergies renouvelables, la santé environnementale et les modèles de circularité. L'intégration des sources d'énergie renouvelables dans les réseaux intelligents ainsi que les concepts de construction durable et circulaire et de mobilité durable soutiendront cette transition.

La recherche et l'innovation dans le domaine des écosystèmes et des agrosystèmes résilients visent à garantir une production alimentaire durable, la conservation de la biodiversité, l'augmentation du stockage de carbone et l'adaptation au changement climatique face à des pressions environnementales croissantes et à leur impact sur la santé publique. Cette priorité nécessite des approches intégrées combinant les sciences écologiques, l'agriculture de précision et les sciences de la santé. La recherche se concentrera sur le développement de pratiques agricoles intelligentes sur le plan climatique, tout en misant sur l'exploitation de l'IA et de l'IoT pour l'analyse des données en temps réel et sur des modèles de bioéconomie circulaire qui réduisent les déchets et optimisent l'utilisation des ressources. La collaboration interdisciplinaire entre l'agronomie, les sciences environnementales, la santé et la recherche socio-économique est essentielle pour concevoir des solutions qui soient non seulement écologiquement rationnelles, mais aussi économiquement viables et socialement inclusives. En encourageant l'innovation dans ces domaines, le Luxembourg peut renforcer la sécurité alimentaire, atténuer les risques climatiques, renforcer la préparation et la réponse aux situations d'urgence, ainsi que soutenir la transition vers des systèmes sociétaux durables et résilients.

De nouvelles plateformes, telles que celle de l'initiative Data-Driven Energy Transition (D2ET), éviteront la duplication des efforts et l'adoption de solutions isolées, en offrant un environnement partagé où les chercheurs pourront apporter leur contribution sous forme de données, de modèles et de scénarios. Des modèles pour l'agriculture, la sylviculture, la gestion de l'eau et la prévention des événements extrêmes pourront ainsi être développés.

La recherche favorisera la connexion des plateformes de données nationales à des plateformes paneuropéennes telles que celle de l'initiative Destination Earth (DestinE), qui offre des services basés sur des modèles numériques holistiques de notre planète. Ces innovations renforceront la capacité du Luxembourg à protéger sa population contre les risques émergents liés à la pollution, au changement climatique et à la dégradation des écosystèmes. Des systèmes avancés de surveillance et de contrôle utilisant des capteurs en temps réel, des technologies satellitaires et de télédétection, combinés à l'analyse de Big Data, permettront une évaluation rapide des risques, une alerte précoce et une atténuation efficace des problèmes environnementaux.

Un développement socialement durable est particulièrement important pour la société luxembourgeoise, qui se caractérise par sa diversité et son multilinguisme. La recherche portera sur les migrations et la cohésion sociale, en explorant les conséquences sociales des changements démographiques, de la transition énergétique et de l'évolution du marché du travail. Les questions d'identité culturelle, de patrimoine culturel et d'appartenance nationale seront également essentielles, une collaboration accrue entre les instituts de recherche et les organisations culturelles étant encouragée dans le but de préserver et de promouvoir le patrimoine, y compris ses aspects numériques.

Il est nécessaire de repenser la nature des technologies de l'information afin de réduire l'impact environnemental, en particulier avec l'utilisation de l'IA. Le Luxembourg favorisera la durabilité économique grâce à l'innovation dans le domaine de la finance durable et à la promotion de modèles bioéconomiques liés au cycle de vie des matières premières essentielles. Ces approches visent à réduire la consommation des ressources et l'impact environnemental tout en favorisant une croissance économique inclusive et tournée vers l'avenir.

En outre, la recherche doit permettre de mieux comprendre comment le Luxembourg peut renforcer stratégiquement ses capacités dans les domaines de la science, de l'éducation et de l'innovation. L'objectif est de tirer parti du potentiel d'innovation du Luxembourg pour accroître la productivité nationale tout en favorisant une transformation économique inclusive et durable. Ainsi, la recherche doit fournir des données solides et développer des méthodes innovantes pour assurer une allocation efficace de ressources et renforcer la capacité du Luxembourg à saisir les opportunités liées au progrès technologique, à la numérisation et à la transition écologique. Cela implique de comprendre comment les innovations sont encouragées et adoptées, et de tirer parti de la science et de la recherche pour optimiser ces processus afin de maximiser leur impact.

Un développement responsable dans un monde en pleine numérisation nécessite un cadre juridique et éthique solide. La recherche se concentrera sur la réglementation et l'éthique d'une société axée sur les données, garantissant une utilisation des données respectueuse de la vie privée, abordant les implications des technologies disruptives telles que l'intelligence artificielle et les technologies quantiques et mettant en œuvre la cybersécurité « dès la conception ». Le Luxembourg œuvrera pour une adaptation du cadre légal national et européen afin de soutenir la prise de décision fondée sur les données, la santé personnalisée et la protection de l'environnement dans un contexte numérisé. Ces efforts visent à apporter une sécurité juridique aux citoyens et aux entreprises afin de libérer le potentiel de modernisation du progrès technologique au profit de la société et de renforcer la gouvernance démocratique.

Grâce à ces initiatives intégrées, le Luxembourg cherche à se positionner comme l'une des sociétés les plus avancées en matière de numérisation et de développement durable, alliant innovation, inclusivité et résilience pour les générations futures. Les résultats de la recherche viseront également à contribuer au renforcement de la démocratie et au maintien de la confiance du public et jetteront les bases d'une économie et d'une société intelligentes, durables et fondées sur les données



Développement écologique :
éco- et agrosystèmes
résilients, efficacité
énergétique et gestion
intelligente de l'énergie



Développement économique
et industriel : finance verte et
durable / économie circulaire /
innovation et productivité



Développement sociétal :
migration et cohésion
sociale / identités culturelles,
patrimoine culturel et
appartenance nationale



Développement responsable :
cadre réglementaire et
éthique pour une société
basée sur les données

ACCÉLÉRER LA SOUVERAINETÉ NUMÉRIQUE À TRAVERS L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET LES TECHNOLOGIES QUANTIQUES

La présente stratégie est pleinement alignée sur la stratégie du Luxembourg en matière d'intelligence artificielle (IA), publiée en mai 2025, dans le cadre de l'initiative stratégique «Accélérer la Souveraineté Numérique 2030». A travers cette initiative, le gouvernement vise à maintenir le Luxembourg à la pointe des nouvelles technologies et à renforcer sa souveraineté numérique.

L'intelligence artificielle est considérée comme une technologie clé qui devra être utilisée dans chacun des quatre principaux domaines de recherche prioritaires. Les activités de recherche et d'innovation sont considérées comme essentielles pour soutenir le pays dans l'adoption rapide de l'intelligence artificielle et de son déploiement à l'échelle nationale, conformément à la stratégie nationale en matière d'intelligence artificielle. L'opérationnalisation de cette stratégie s'appuiera sur un ensemble de projets phares traduisant des ambitions sectorielles concrètes dans des domaines stratégiques tels que la finance, la santé, la culture, l'espace, l'éducation, les compétences, la cybersécurité, l'énergie, la mobilité ou encore l'optimisation des processus législatifs et administratifs. La recherche sera appelée à contribuer à la réalisation de ces projets phares d'ici 2030.

Certains types de travaux en intelligence artificielle revêtiront une importance particulière en vue de réaliser les objectifs précités d'accélération de la souveraineté numérique, à savoir :

L'excellence dans l'IA de confiance, durable et sécurisée

Le pays mettra sur l'IA responsable en intégrant systématiquement les dimensions éthique, juridique et sociale dans ses projets. Il développera des cadres d'audit de l'IA, de certification et de lignes directrices éthiques qui contribueront à préserver des systèmes d'IA équitables et responsables. L'accent sera mis sur l'IA frugale avec des modèles légers nécessitant moins de ressources informatiques et énergétiques. La sécurité de l'IA sera prioritaire, avec le développement d'outils pour détecter les vulnérabilités et contrer les cybermenaces.

L'IA pour l'ingénierie logicielle et l'ingénierie logicielle pour l'IA

L'Intelligence artificielle est sur le point de révolutionner l'ingénierie logicielle, en automatisant la génération et la vérification du code. En même temps, ce seront des solutions logicielles qui alimenteront la prochaine génération de solutions IA. Ces solutions logicielles basées sur

l'IA et alimentant l'IA pourront ensuite être appliquées à des domaines extrêmement variés. Le Luxembourg va miser d'une manière systématique sur l'intelligence artificielle pour l'élaboration de solutions logicielles.

L'IA comme catalyseur de l'innovation en recherche

Le pays a l'ambition d'utiliser systématiquement l'intelligence artificielle dans la découverte scientifique afin d'accélérer les avancées dans diverses disciplines à travers l'utilisation de l'IA. Il visera à soutenir le développement de systèmes d'IA spécialisés capables de générer de nouvelles hypothèses, d'analyser des données expérimentales complexes, d'automatiser les processus de laboratoire et de modéliser des phénomènes trop complexes pour les méthodes computationnelles traditionnelles. Pour un petit pays comme le Luxembourg avec des ressources limitées, cela permettra d'accélérer les découvertes scientifiques et d'avoir un effet levier sur les moyens mis en œuvre.

Bien que les technologies quantiques ne s'appliquent pas de manière aussi transverse que l'IA aux quatre principaux domaines de recherche prioritaires, celles-ci forment également un pilier de la transformation numérique de demain et sont appelées à contribuer significativement à la souveraineté numérique européenne. En effet, comme indiqué dans la Section « Transformation industrielle et des services », le développement de la cryptographie post-quantique (PQC) et des technologies de communication quantique de nouvelle génération est essentiel afin de sécuriser les échanges d'information à l'échelle européenne comme mondiale. À cette ambition s'ajoute la volonté du Luxembourg de participer au développement d'algorithmes quantiques grâce à la future infrastructure MeluXina-Q du réseau EuroHPC, permettant également de soutenir les efforts de recherche et de développement de technologies disruptives européennes.

RECHERCHE ET INNOVATION AU SERVICE DE LA DÉFENSE

Conformément à la Stratégie Industrie Défense du Luxembourg, le gouvernement vise à promouvoir la recherche et l'innovation locales dans le domaine de la défense et à soutenir le développement des compétences, des connaissances et des innovations technologiques au sein des instituts de recherche et des entreprises luxembourgeoises, afin d'assurer l'adaptabilité et le renouvellement des moyens de défense face aux menaces évolutives.

Les projets de recherche et d'innovation liés directement au domaine de la défense seront soutenus via des appels à projets spécifiques en collaboration entre le FNR, la Direction de la Défense du ministère des Affaires étrangères et européennes, de la Défense, de la Coopération et du Commerce extérieur et le ministère de l'Économie.

Sur base des compétences et du savoir-faire existant au Luxembourg, un focus particulier sera mis sur les domaines des matériaux et des technologies de production, des systèmes automatisés et autonomes, de la cybersécurité, des technologies de l'espace, de la logistique et mobilité militaire et de la circularité pour la défense. La valorisation des données, l'intelligence artificielle et les technologies quantiques joueront un rôle essentiel en tant que technologies et services transversaux.

Le budget de défense alloué à la recherche publique garantira des retombées économiques et sociales durables pour le pays. Le gouvernement veillera à ce que les activités de recherche liées à la défense soient éligibles au titre de l'effort de défense.

OPTIMISER L'IMPACT DE LA RECHERCHE AU LUXEMBOURG GRÂCE À LA COORDINATION AVEC LA POLITIQUE DE COOPÉRATION AU DÉVELOPPEMENT LUXEMBOURGEOISE

Le pays a l'ambition d'optimiser l'impact mondial des efforts déployés au niveau national par un examen systématique des résultats de la recherche en vue de leur utilisation et de leur transfert potentiel dans le cadre des efforts de coopération au développement du Luxembourg. Le Luxembourg est en effet un des pays avec la plus importante contribution par habitant dans le domaine de la coopération au développement, et de nombreux défis auxquels la politique de coopération au développement est confrontée peuvent bénéficier des technologies et des résultats issus de l'écosystème de la recherche.

Le gouvernement continuera donc à encourager la contribution de l'écosystème de la recherche aux efforts de coopération au développement du Luxembourg, entre autres par le biais d'appels à projets conjoints entre la Direction de la Coopération du ministère des Affaires étrangères et européennes, de la Défense, de la Coopération et du Commerce extérieur et le FNR.

FEUILLE DE ROUTE POUR LE DÉVELOPPEMENT ULTÉRIEUR ET L'ADAPTATION DE LA STRATÉGIE NATIONALE DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION

La stratégie nationale de la recherche et de l'innovation était dès le départ conçue, non pas comme fixe et inaltérable, mais plutôt comme un processus continu. La présente version de la stratégie est le résultat d'un exercice de mise à jour, tenant compte notamment des nouvelles stratégies nationales en matière de données, d'intelligence artificielle et des technologies quantiques et d'autres développements récents, tels que l'attention accrue accordée à la recherche et à l'innovation liée au domaine de la défense.

Les principes généraux qui sous-tendaient la stratégie initiale ainsi que les quatre domaines prioritaires de recherche interdisciplinaires qui en constituent l'épine dorsale n'ont pas été remis en cause et les sous-domaines n'ont été adaptés que ponctuellement.

La stratégie continuera à faire l'objet d'adaptations régulières à l'avenir, en concertation avec le comité de coordination stratégique et les acteurs gouvernementaux, économiques et sociétaux. Une révision plus approfondie des priorités de recherche au sein des quatre domaines prioritaires pourrait avoir lieu à la suite d'une évaluation externe du programme CORE du FNR, qui est le principal instrument de financement sous-tendant cette stratégie.



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de la Recherche
et de l'Enseignement supérieur

LU  **EMBOURG**
LET'S MAKE IT HAPPEN

Vectorisé