

A digital dashboard background with a dark blue color scheme. It features a large, glowing watch-like graphic on the right side, composed of a grid of points and lines. On the left, there are several data points and a bar chart. The text "GENERATOR STATUS : Good" is highlighted in a light blue box.

578652

GENERATOR STATUS : Good

421289

394188

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

ÉTUDE DE MARCHÉ DE L'INNOVATION EN MATIÈRE D'ÉNERGIE
INTELLIGENTE ET DE DÉCARBONATION INDUSTRIELLE DANS LES
PAYS EN DÉVELOPPEMENT



ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL

© ONUDI 2024. Tous droits réservés.

La version originale anglaise du présent document n'a pas été revue par les services d'édition de l'Organisation des Nations Unies. Les appellations employées dans le présent document et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI) aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites, ou à leur système économique et degré de développement. Les appellations « développé », « industrialisé » ou « en développement » sont employées à des fins statistiques et n'expriment pas nécessairement un jugement quant au niveau de développement de tel ou tel pays ou telle ou telle zone. La mention dans le texte de la raison sociale ou des produits d'une société n'implique aucune prise de position en leur faveur de la part de l'ONUDI.

Copyright © 2024 - Organisation des Nations Unies pour le développement industriel -
www.unido.org

Auteurs et remerciements

Cette évaluation de marché a été réalisée par KPMG Autriche sous la direction générale de M. Peter Warren, A2D Facility Manager, et de Mme Yi Zhang, A2D Facility Smart Energy and Industrial Decarbonization Project Coordinator, au sein de la Division de l'innovation climatique et du Protocole de Montréal de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI). Cet effort a été rendu possible grâce au soutien du Department for Energy Security and Net Zero (DESNZ) du Royaume-Uni.

Auteurs de KPMG Autriche : Wolfgang Ritzberger, Adela Roszkowski, Markus Schiffer

Auteurs de KPMG États-Unis : Ruba Amarin

Auteurs de KPMG Global Services : Ambareesh Soman, Nikhil Kaushik

L'équipe du projet exprime sa gratitude aux répondants au sondage et aux experts interrogés (annexe page 83 du rapport principal, Experts interrogés) pour leur temps précieux et leurs idées.



UK Government

À propos de l'ONUDI

L'ONUDI est une agence spécialisée des Nations Unies ayant pour mandat unique est de promouvoir, dynamiser et accélérer le développement industriel. Si ce mandat se reflète spécifiquement dans l'objectif de développement durable (ODD) 9 : « Mettre en place une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation », les activités de l'ONUDI n'en contribuent pas moins à tous les ODD. La vision de l'ONUDI est celle d'un monde sans pauvreté ni faim, où l'industrie est le moteur d'économies à faibles émissions, améliore le niveau de vie et préserve un environnement vivable pour les générations actuelles et futures, sans laisser personne de côté.



Table des matières

1. Contexte	5
<hr/>	
2. Sélection de pays	6
<hr/>	
3. Principales constatations des évaluations de marché	7
<hr/>	
3.1 Parties prenantes	7
<hr/>	
3.2 Marchés	9
<hr/>	
3.3 Projets et initiatives	10
<hr/>	
3.4 Paysage technologique	12
<hr/>	
3.5 Impacts et ODD	14
<hr/>	
4. Conclusion et perspectives d'avenir	16
<hr/>	

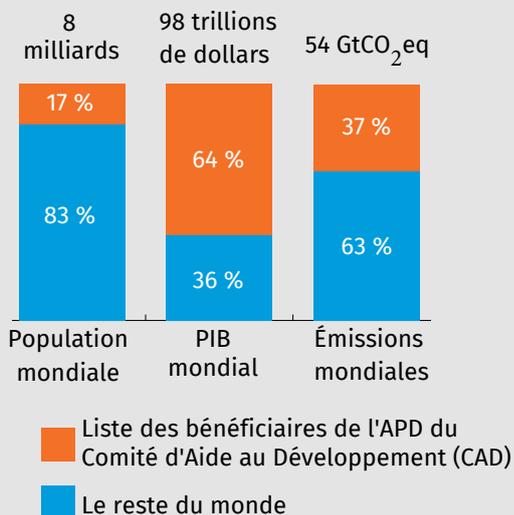
Résumé exécutif

1. Contexte

L'A2D Facility, financé par le Department of Energy Security & Net Zero (DESNZ) du gouvernement britannique, vise à accélérer la commercialisation de technologies innovantes en matière d'énergie propre dans les pays en développement. Il se concentre sur quatre domaines thématiques : l'hydrogène propre, les minéraux critiques, l'énergie intelligente et la décarbonation industrielle. Ces domaines sont essentiels pour faciliter la transition vers les énergies propres et faire face aux risques climatiques dans les pays en développement, qui représentent actuellement 83 % de la population mondiale et 63 % des émissions mondiales.

TABLEAU 1 : Bénéficiaires de l'APD : population, émissions et contributions au produit intérieur brut (PIB)

Alors que les 141 pays figurant sur la liste des bénéficiaires de l'aide publique au développement (APD) représentent 83 % de la population mondiale, ils représentent 63 % des émissions mondiales et 36 % du PIB mondial.



La demande d'électricité est prévu de doubler dans les pays en développement. Leurs systèmes énergétiques offrent l'occasion d'une transformation radicale.

L'A2D Facility comble une lacune importante dans le paysage des fonds d'innovation climatique qui soutiennent les pays en développement par le biais du financement international de l'action climatique et de l'aide publique au développement (APD). Il cible la phase pilote de démonstration de la chaîne d'innovation climatique, en se concentrant sur les projets ayant un effet « phare » qui ont le potentiel d'avoir un impact transformationnel dans les pays soutenus.

Le présent document résume les résultats d'un examen approfondi de deux des domaines thématiques: l'énergie intelligente et la décarbonation industrielle. L'énergie intelligente fait référence aux systèmes utilisant des technologies numériques, qui permettent une distribution plus efficace de l'énergie en réseau. Ces technologies et solutions peuvent inclure, sans s'y limiter, des réseaux intelligents, des appareils intelligents, des systèmes de stockage d'énergie, des logiciels ou des solutions d'intelligence artificielle, des outils d'accès et de gestion des données tels que la chaîne de blocs, les compteurs intelligents, la surveillance et les contrôles à distance, la réponse à la demande et l'intégration d'approches sur le réseau et hors réseau (par exemple, les réseaux en essai, les mini-réseaux, etc.).

La décarbonation industrielle est le processus de réduction stratégique ou d'élimination des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et d'autres gaz à effet de serre (GES) du secteur industriel. Cela peut être réalisé en passant à des sources d'énergie à faible émission de carbone, en adoptant des méthodes de production plus propres et en améliorant l'efficacité énergétique. La décarbonation peut se matérialiser au niveau de la source, du processus et du cycle de vie. Dans le contexte des solutions technologiques, l'évaluation a mis l'accent sur le captage, l'utilisation et le stockage du carbone (CUSC), les carburants alternatifs tels que les biocarburants et l'hydrogène pour les applications industrielles, l'optimisation des processus pour améliorer l'efficacité énergétique et l'électrification des processus industriels.

Les technologies innovantes dans ces domaines thématiques permettent un accès abordable à l'énergie, accélèrent les transitions vers l'énergie propre et stimulent la croissance économique tout en relevant les défis environnementaux.

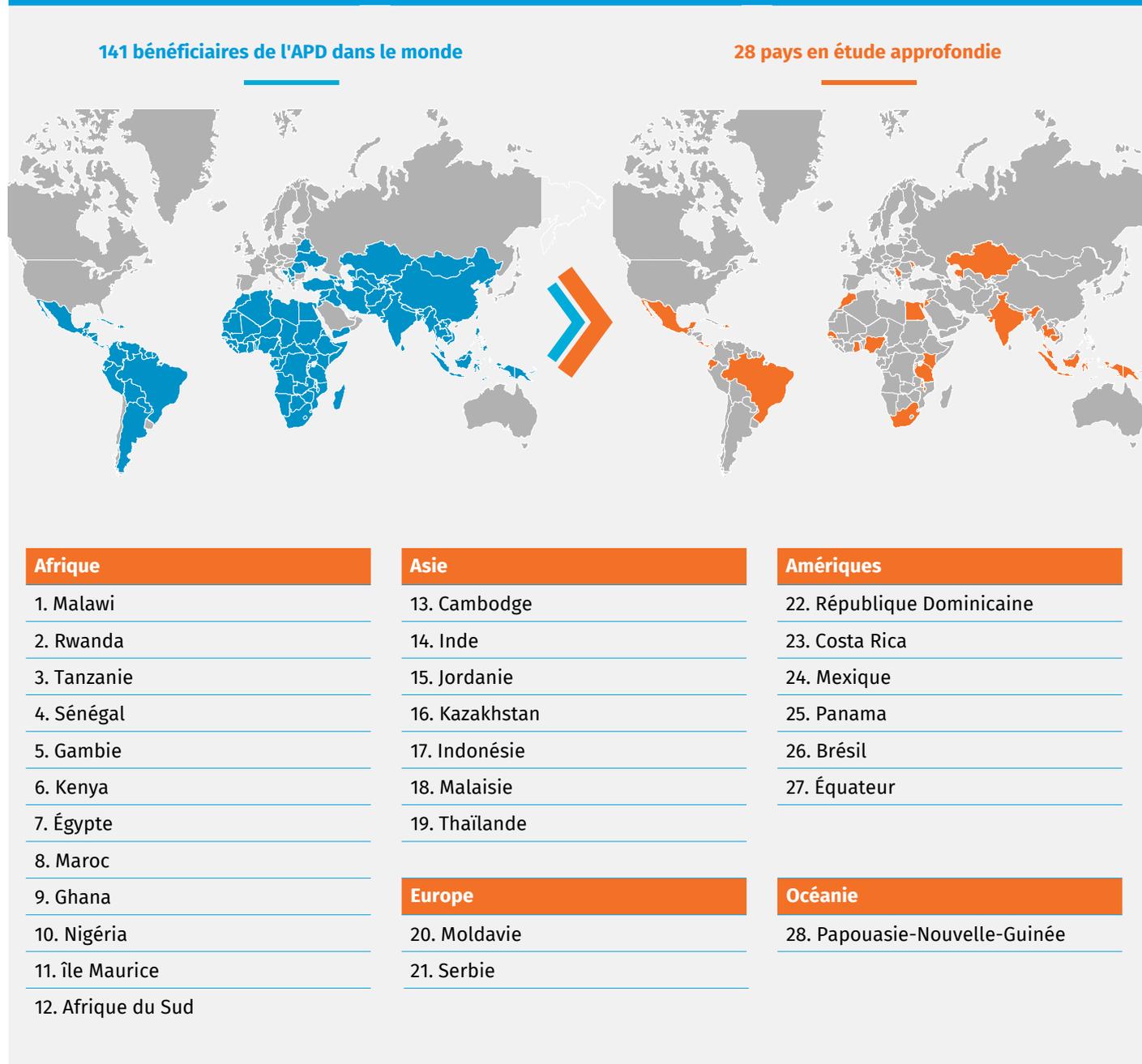
Les évaluations du marché (une pour chaque domaine thématique) ont permis d'identifier les marchés, les technologies et les projets à fort potentiel, dans le but d'accélérer la commercialisation de technologies novatrices en matière d'énergie propre dans les pays en développement.

2. Sélection de pays

Bien que les évaluations fournissent une vue globale couvrant l'ensemble des 141 pays bénéficiaires de l'APD, un ensemble représentatif de 28 pays a été sélectionné pour une analyse approfondie. Les critères de sélection de ces pays ciblés ont été fondés sur plusieurs facteurs clés, notamment l'existence de cadres politiques progressistes et d'environnements réglementaires qui soutiennent l'innovation technologique dans le domaine de l'énergie

intelligente et de la décarbonation industrielle. En outre, les pays ayant un potentiel de croissance économique important, une forte demande d'énergie et une vulnérabilité au changement climatique ont été priorisés. Une sélection équilibrée à travers l'Afrique, l'Asie et l'Amérique latine a permis de garantir un contexte géographique et économique diversifié. Les 28 pays cibles sélectionnés sont les suivants:

TABLEAU 2 : Vue d'ensemble des pays cibles



3. Principales constatations des évaluations de marché

Les deux évaluations de marché couvrent cinq domaines d'analyse principaux qui sont essentiels pour l'avancement et la mise à l'échelle des technologies innovantes respectives : les parties prenantes, les marchés, les projets et les initiatives, le paysage technologique, ainsi que les impacts et les ODD.

Si certaines constatations de ces domaines analytiques, par exemple pour le paysage technologique, sont distinctes pour

chaque domaine thématique, d'autres se distinguent clairement comme résultats transversaux puisqu'elles englobent des environnements favorables, des interactions entre les parties prenantes et des cadres politiques qui sont essentiels pour faire progresser l'innovation technologique dans les deux domaines de manière égale. Par la suite, nous avons identifié des résultats distinctifs et transversaux avec des icônes respectives:



3.1 Parties prenantes

EI DI Six groupes de parties prenantes essentielles ont été identifiés, notamment les innovateurs, les adoptants, les contrôleurs, les bailleurs de fonds, les conseillers et les influenceurs, qui jouent tous un rôle essentiel dans la promotion de l'innovation technologique dans les deux domaines thématiques de l'énergie intelligente et de la décarbonation industrielle.

Chaque groupe de parties prenantes contribue de différentes manières au processus d'innovation et est composé de différents sous-groupes. Par exemple, les innovateurs tels que les groupes de réflexion, les universités, les organismes de recherche, les startups et les entreprises technologiques jouent un rôle essentiel dans le développement de nouvelles technologies, l'analyse de données et la fourniture d'une expertise technique. Les adoptants, y compris les utilisateurs finaux, les PME, les grands utilisateurs, les entreprises de services et le secteur privé, sont responsables de la mise sur le marché des innovations, de l'investissement dans le développement technologique et de la mise à l'échelle des solutions. Les contrôleurs, tels que les organismes

gouvernementaux, les organismes de réglementation et les organismes de certification, établissent les politiques et les cadres réglementaires, fournissent un financement initial et facilitent les projets de démonstration. Les bailleurs de fonds, y compris les banques, les donateurs, les organismes financiers et les fonds d'investissement, fournissent du capital pour la R&D et le déploiement de la technologie et atténuent les risques. Les conseillers, tels que les ONG, les associations énergétiques, les associations industrielles et les consultants, mobilisent les communautés, fournissent un soutien sur le terrain et partagent les meilleures pratiques. Les influenceurs, y compris les médias, les influenceurs des médias sociaux et les associations, sensibilisent, facilitent la collaboration et stimulent l'engagement via leurs plateformes.

Dans les deux domaines thématiques, la relation entre les innovateurs et les adoptants est marquée par une approche collaborative, notamment entre les contrôleurs (gouvernement), les adoptants (secteur privé) et les conseillers (ONG) pour mettre en œuvre et développer des solutions finales d'énergie propre par le biais de partenariats public-privé (PPP).

TABLEAU 3 : Groupes d'intervenants

Groupes d'intervenants	Innovateurs	Adoptants	Contrôleurs	Bailleurs de fonds	Conseillers	Influenceurs
Rôle	Développer de nouvelles technologies, effectuer des analyses de données et fournir une expertise technique	Commercialiser les innovations, investir dans le développement technologique et mettre à l'échelle les solutions	Définir des politiques et des cadres réglementaires, fournir un financement initial et faciliter les projets de démonstration	Fournir des capitaux pour la R&D et le déploiement des technologies, et atténuer les risques	Engager les communautés, fournir un soutien sur le terrain et partager les meilleures pratiques	Sensibiliser, faciliter la collaboration et stimuler l'engagement par le biais de leurs plateformes
TRL 3-4	Haut	Limité	Haut	Haut	Haut	Haut
TRL 5-6	Haut	Limité	Haut	Haut	Haut	Haut
TRL 7-8	Haut	Haut	Haut	Haut	Haut	Haut

Haut

 Limité

 Bas

En général, la pertinence de chaque groupe d'intervenants varie tout au long du processus de développement de l'innovation technologique. Aux niveaux de maturité technologique (Technology Readiness Level, TRL) 3-4, les innovateurs et les conseillers sont fortement engagés dans le développement et l'amélioration de la technologie, tandis que les bailleurs de fonds fournissent le soutien financier initial requis. Aux TRL 5-6, les adoptants et les contrôleurs s'impliquent davantage, avec un financement et un engagement accrus dans la mise en œuvre. Au TRL 7, toutes les parties prenantes sont significativement engagées : les adoptants intègrent la technologie dans leurs opérations, les contrôleurs assurent la conformité et les bailleurs de fonds fournissent des investissements substantiels pour des démonstrations à grande échelle.

Bien que les principaux bénéficiaires aient tendance à être les adopteurs et les contrôleurs de l'énergie intelligente et de la décarbonation industrielle, les avantages varient entre les deux domaines thématiques, desservant ainsi différentes sous-catégories de bénéficiaires.

EI **Les solutions énergétiques intelligentes** jouent un rôle particulièrement important pour les communautés locales et les utilisateurs finaux vivant dans des régions avec un accès limité à l'énergie. Les femmes, en particulier dans les zones rurales, ont tendance à être les plus touchées par la pénurie d'énergie. L'accès à d'énergie intelligente peut réduire leur charge de travail et leur permettre de bénéficier d'une économie accrue.

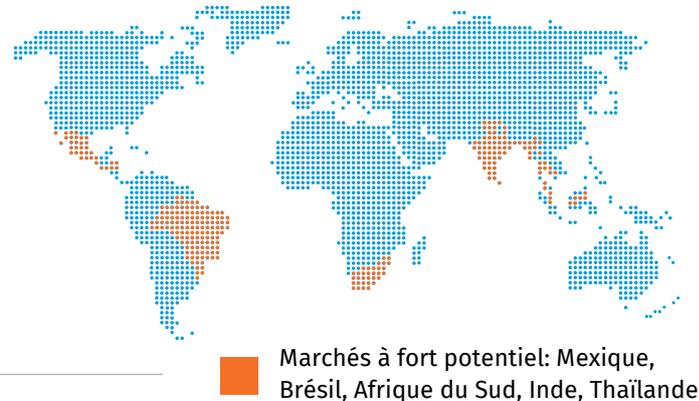
DI **La décarbonation industrielle** est particulièrement pertinente pour les grandes entreprises des secteurs à forte intensité d'émissions. Les nouvelles technologies peuvent entraîner des réductions significatives des émissions, contribuant ainsi à atteindre les objectifs réglementaires et de durabilité des entreprises. En plus, les technologies avancées de pointe peuvent améliorer l'efficacité opérationnelle, ce qui permet de réaliser des économies de coûts d'augmenter la productivité. Au-delà, ils aident également les gouvernements à atteindre leurs objectifs climatiques.



3.2 Marchés

Les pays bénéficiaires de l'aide publique au développement (APD) varient considérablement selon un large éventail de dimensions, notamment les niveaux de revenu, la performance économique, la stabilité politique, la contribution aux objectifs de développement durable (ODD), les ambitions de réduction des émissions, l'accès à l'énergie propre et la maturité des cadres politiques. La performance dans ces dimensions détermine la mesure dans laquelle ces pays offrent des environnements propices à l'innovation technologique.

TABLEAU 4: Les marchés à fort potentiel



EI DI Les deux évaluations de marché montrent que les pays en développement disposent d'un riche paysage politique en matière de réduction des émissions, d'efficacité énergétique et de durabilité. Les marchés à fort potentiel comprennent l'Inde, le Brésil, la Thaïlande, l'Afrique du Sud et le Mexique, car ils offrent des environnements et des cadres politiques favorables qui favorisent la réduction continue des coûts des technologies d'énergie renouvelable, les rendant plus accessibles. Il existe une détermination à aligner les progrès technologiques sur les objectifs mondiaux en matière de durabilité et de climat, mais peu de politiques abordent spécifiquement les solutions technologiques innovantes, ce qui souligne la nécessité de politiques plus ciblées qui soutiennent le développement et le déploiement de technologies de pointe dans les domaines de l'économie sociale et de l'identité. Dans l'ensemble, les interventions dans ces pays, qui ont fixé des objectifs ambitieux et établi des cadres politiques solides, sont susceptibles d'avoir les impacts les plus transformationnels.

En général, le potentiel d'impact transformationnel est le plus élevé lorsque les aspects économiques, sociaux et environnementaux convergent.

Les pays africains tels que le Rwanda, la Gambie, le Kenya et l'Afrique du Sud se distinguent par des taux de population rurale élevés et des cadres politiques relativement matures. Ces pays offrent des opportunités uniques d'interventions efficaces en raison de leurs caractéristiques démographiques et politiques. En Asie, des pays peuplés comme l'Inde et la Chine dépendent fortement d'industries difficiles à réduire, ce qui présente d'importantes opportunités d'interventions efficaces. La plupart des pays des Amériques sont économiquement mieux développés (catégorie des pays à revenu intermédiaire de la tranche supérieure), mais leurs politiques se concentrent largement sur les technologies qui ne soutiennent pas l'innovation. Par conséquent, les interventions stratégiques dans ces régions devraient viser à combler le fossé entre les cadres politiques existants et la nécessité de trouver des solutions technologiques innovantes pour maximiser l'impact transformationnel.

EI DI Les contraintes critiques du marché qui entravent l'adoption de technologies innovantes en matière d'énergie intelligente et de décarbonation industrielle se répartissent en quatre grandes catégories : 1) politiques et juridiques, 2) économiques, 3) technologiques et environnementales, et 4) sociales. Si l'innovation technologique dans les deux domaines thématiques est essentiellement affectée par les mêmes types de contraintes du marché, la pertinence de ces contraintes peut varier selon les pays, les industries et les technologies.

3.3 Projets et initiatives

Les évaluations de marché pour les deux domaines thématiques ont révélé un paysage complet d'initiatives et de projets qui s'alignent sur les objectifs de durabilité nationaux et internationaux. Les pays développés tels que les États membres de l'UE, le Canada et les Émirats arabes unis, ainsi que les organismes industriels mondiaux tels que la "Global Cement and Concrete Association", ouvrent la voie grâce à des initiatives régionales et mondiales à grande échelle. Cependant, le succès de ces initiatives parrainées par l'extérieur dans les pays en développement dépend de la présence de politiques et d'incitations de soutien.

EI **DI** La base de données de projets établie dans le cadre des évaluations met en évidence un large éventail de projets dans diverses technologies, notamment les réseaux intelligents, le captage, l'utilisation et le stockage du carbone (CUSC) et la production de carburants alternatifs. Cette diversité démontre de nombreuses possibilités d'investissement dans des projets novateurs figurant sur la liste des bénéficiaires de l'APD du CAD. Bon nombre de ces projets sont pionniers dans leurs domaines respectifs, en utilisant des technologies de pointe telles que le développement de technologies de capture du carbone aqueux, qui pourraient servir de référence pour de futures initiatives à l'échelle mondiale. De solides collaborations entre les parties prenantes publiques, privées et internationales, y compris les ministères, les banques multilatérales de développement (BMD) et les organisations

intergouvernementales (OIG) telles que le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), sont évidentes. De plus, la présence de multiples mécanismes financiers, y compris l'externalisation ouverte et diverses combinaisons, reflète un paysage ouvert à des formes nouvelles et innovantes de soutien financier.

EI Dans le domaine de l'énergie intelligente, les services publics apparaissent comme des acteurs pivots, agissant en tant que principaux adopteurs et metteurs en œuvre de technologies telles que les réseaux intelligents et les centrales électriques virtuelles. La nature très novatrice de ces technologies a introduit d'importantes contraintes technologiques, politiques et juridiques, principalement motivées par des préoccupations en matière de confidentialité et de sécurité. Malgré ces défis, la majorité des projets d'énergie intelligente sont soutenus par des subventions gouvernementales, car les gouvernements visent à favoriser des projets qui catalyseront l'intérêt et les investissements de diverses parties prenantes. Parmi les technologies de réseau intelligent, les mécanismes de mise sur le marché tels que les centrales électriques virtuelles (VPP) connaissent le plus d'activité en raison de leur rentabilité et de leurs caractéristiques de soutien aux technologies renouvelables et distribuées. En outre, la mise à niveau vers les réseaux intelligents connaît un élan considérable, motivé par le besoin croissant de flexibilité et d'intégration de sources d'énergie renouvelables dans le réseau.

TABLEAU 5 : La base de données des projets comprend actuellement 24 projets d'énergie intelligente dans les 28 pays cibles

EI

Intervenant principal	Contraintes du marché primaire	Mécanisme de financement	Catégorie technologie
Organisations internationales gouvernementales (OIG) 4 %	Contraintes sociales 0%	Multiples 4 %	Technologies numériques 8 %
Gouvernement étranger 4 %	Contraintes économiques 17 %	Subsides 4%	Technologies d'automatisation 8 %
Établissements de recherche 8 %	Contraintes politiques et juridiques 29 %	Financement participatif 4%	Catalyseurs de réseaux intelligents - Infratech 13%
Entreprise d'État 8 %	Contraintes environnementales et technologiques 54%	Incitations 8 %	Réseaux intelligents 25 %
Gouvernement 13 %		Prêts 13%	Facilitateurs de réseaux intelligents - mécanismes de marché 46%
Organisation privée 29 %		Capitaux propres 25 %	
Utilité de l'énergie 34 %		Subventions 42%	

En ce qui concerne la décarbonation industrielle, les gouvernements et les institutions publiques sont profondément impliqués, s'alignant sur les ambitions nationales. Les acteurs privés, poussés par la nécessité de décarboner leurs industries respectives et par une surveillance réglementaire accrue telle que la tarification du carbone, dirigent la plupart des projets en cours. Cependant, ces projets se heurtent à d'importantes contraintes économiques et technologiques en raison de la nature perturbatrice et coûteuse des technologies, en particulier le captage, l'utilisation et le stockage du carbone (CUSC).

Par conséquent, ces projets sont principalement soutenus par des subventions gouvernementales ou multilatérales qui aident à combler les écarts financiers associés à ces technologies de pointe. Dans ce domaine, on observe une adoption importante dans deux catégories de technologies principales : les technologies indépendantes de l'industrie, comme le CUSC et les carburants alternatifs ainsi que les technologies propres à l'industrie axées sur le passage à des combustibles plus propres ou à des procédés alternatifs.

TABLEAU 6 : La base de données des projets comprend actuellement 32 projets de décarbonation industrielle dans 28 pays cibles

DI

Intervenant principal	Contraintes du marché primaire	Mécanisme de financement	Catégorie technologie
Utilité de l'énergie 3 %	Contraintes sociales 3 %	Multiples 3 %	Technologie des piles à combustible 3 %
Gouvernement 9 %	Contraintes politiques et juridiques 19 %	Partenariat public-privé 3 %	Substitution chimique 6%
Établissement de recherche/université 13 %	Contraintes économiques 28%	Subsides 6%	Chauffage et climatisation 9 %
Entreprise d'État 22 %	Contraintes environnementales et technologiques 50%	Incitatifs 16%	Production de carburants alternatifs 13%
Organisation privée 50%		Capitaux propres 28%	Substitution de processus 25%
		Subventions 44%	CUSC 44 %

De plus, des projets phares ont été identifiés qui sont reconnus non seulement pour leurs impacts immédiats, mais aussi pour leur évolutivité et leur reproductibilité potentielles. Ces projets font la démonstration de technologies de pointe, de pratiques exemplaires ou d'approches novatrices en matière d'énergie intelligente et de décarbonation industrielle, mettant en valeur le potentiel et les avantages de solutions nouvelles et innovantes.

EI Dans le domaine de l'énergie intelligente, des projets tels que la centrale électrique virtuelle "Evolve" en Afrique du Sud et les réseaux intelligents en Inde et en Indonésie sont particulièrement remarquables. Le système de gestion intelligente de l'énergie Tata Power DDL AI en Inde illustre comment l'intelligence artificielle (IA) et l'apprentissage automatique peuvent optimiser la distribution et la consommation d'énergie. Le modèle évolutif de ce projet peut être reproduit dans d'autres régions, favorisant ainsi l'efficacité énergétique à plus grande échelle.

De solides efforts de collaboration entre les principales parties prenantes, y compris les organismes gouvernementaux, les investisseurs privés et les agences multilatérales, ont été un facteur de succès essentiel.

Par exemple, le projet pilote de réseau intelligent Mae Hong Son en Thaïlande sert de centre de connaissances pour les technologies de réseau intelligent en milieu rural, renforçant les capacités locales et offrant des informations sur la gestion durable de l'énergie qui peuvent être partagées à l'échelle mondiale.

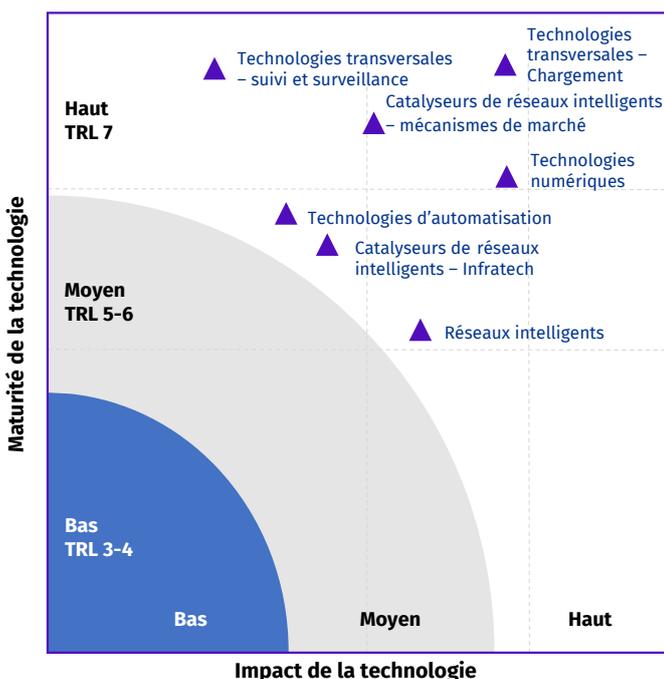
DI Dans le domaine de la décarbonation industrielle, on peut citer le projet de raffinerie de Koyali de l'Indian Oil Corporation et le projet "NoNSToP" situé en Égypte. Le projet de raffinerie de Koyali en Inde se concentre sur la capture des émissions de dioxyde de carbone des unités de production d'hydrogène, dans le but de réduire considérablement l'empreinte carbone de la raffinerie et de servir de modèle pour des initiatives similaires à l'échelle mondiale, illustrant les avantages de l'intégration des technologies de capture du carbone dans les processus industriels. Le projet "NoNSToP" est dédié au développement d'un système photovoltaïque à concentration solaire rentable, qui vise à augmenter la production d'énergie et à rendre l'énergie solaire plus accessible et abordable. L'approche innovante du projet pourrait avoir un impact significatif sur l'adoption des énergies renouvelables, en particulier dans les régions à fort rayonnement solaire.

3.4 Paysage technologique

Les deux évaluations de marché révèlent un paysage dynamique d'innovations technologiques qui sont essentielles à l'avancement des objectifs de durabilité.

EI Dans le domaine de l'énergie intelligente, l'innovation est principalement axée sur l'amélioration de la robustesse, de l'efficacité et de la flexibilité du réseau électrique. Ceci est crucial pour l'intégration transparente des sources d'énergie renouvelables variables et des solutions de stockage d'énergie. Les technologies clés dans ce domaine comprennent les technologies habilitantes des réseaux intelligents et les mécanismes de marché tels que la réponse à la demande et les centrales électriques virtuelles. L'avènement des technologies numériques telles que l'Intelligence Artificielle, l'apprentissage automatique (ML), la blockchain et l'Internet des objets (IoT) révolutionnent l'infrastructure énergétique, la rendant plus intelligente et plus connectée. Ces technologies sont de plus en plus intégrées dans les systèmes et les industries énergétiques afin d'améliorer la productivité et l'efficacité énergétique. Une absorption significative est observée dans les grands pays à revenu intermédiaire tels que l'Inde et l'Indonésie, qui sont en transition vers des réseaux électriques améliorés et connectés pour répondre à la demande croissante et variable. En revanche, les Pays les Moins Avancés (PMA) sont principalement axés sur les technologies de réseau et de stockage plus matures.

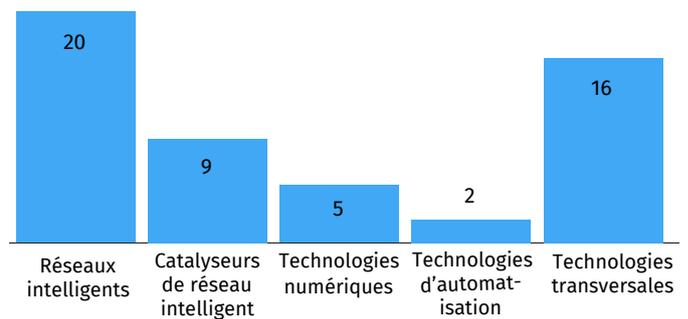
TABLEAU 7 : Carte de maturité de la technologie - EI



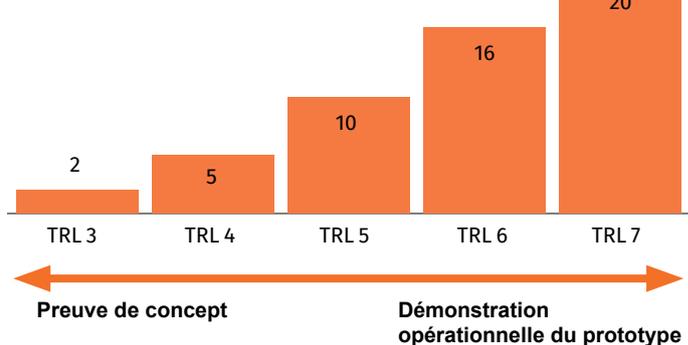
Environ 50 technologies énergétiques intelligentes pertinentes se situant dans la niveau de maturité technologique (TRL) de 3 à 7 ont été identifiées et évaluées. La plupart de ces technologies sont actuellement en phase post-conception, avec près de 50% en phase de prototype ou de pilote.

TABLEAU 8 : Types de technologies et répartition entre les TRL - EI

Nombre de technologies par type de technologie



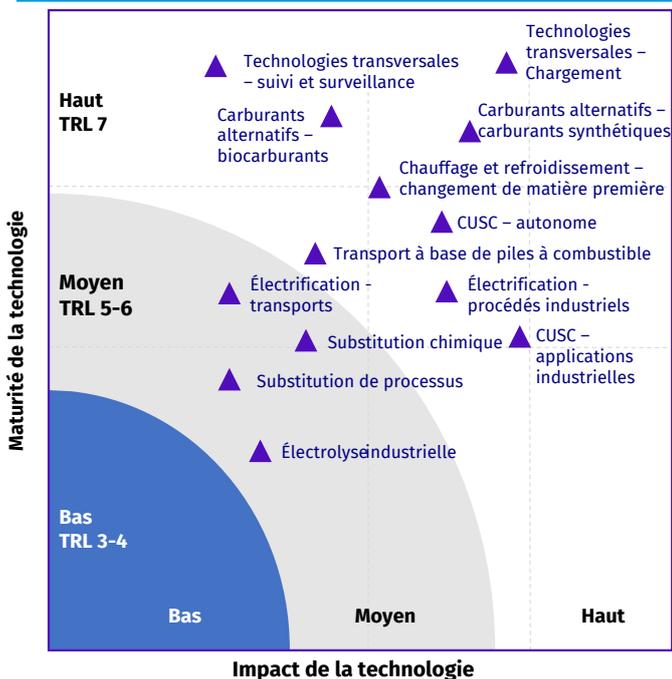
Nombre de technologies par TRL



Les technologies de la gamme TRL de 6 à 7 peuvent offrir des avantages en raison de leur degré de maturité avancé. Ayant démontré leur faisabilité et leur efficacité dans des projets pilotes, les résultats déjà existants renforcent la confiance dans leur potentiel, limitant ainsi les risques techniques et financiers. Une telle réduction des risques peut être particulièrement pertinente dans les contextes des pays en développement où divers risques sont susceptibles d'être plus élevés que dans les régions plus développées, dépassant ainsi l'appétit pour le risque des investisseurs et des parties prenantes et décourageant leur engagement. De plus, les gouvernements et les organismes de réglementation sont généralement plus enclins à soutenir le déploiement de technologies bien validées, ce qui peut aider à créer des cadres politiques et des incitations favorables tels que des subventions et des avantages fiscaux. Des technologies plus matures peuvent également permettre un déploiement plus rapide par rapport aux innovations à un stade antérieur, conduisant à une réalisation plus rapide des avantages.

DI Dans le domaine de la décarbonation industrielle, l'innovation est centrée sur le remplacement des technologies existantes à forte intensité d'émissions par des alternatives à faible émission de carbone. Les principaux domaines ciblés comprennent le remplacement des combustibles, des matériaux et des procédés industriels par des technologies plus efficaces et plus propres. Dans les secteurs difficiles à réduire, comme les métaux et les mines, les produits chimiques et la pétrochimie, il y a une forte traction dans le développement et le prototypage de divers types de technologies de captage, d'utilisation et de stockage du carbone, en mettant l'accent sur l'amélioration de l'efficacité et la viabilité de ces technologies. PMA principalement appuient sur des technologies relativement matures et rentables. Cependant, à mesure que les niveaux de revenu augmentent, les pays ont tendance à investir dans des technologies de décarbonation plus innovantes et évolutives comme le CUSC, la production de carburants alternatifs et l'utilisation de l'hydrogène dans les processus industriels.

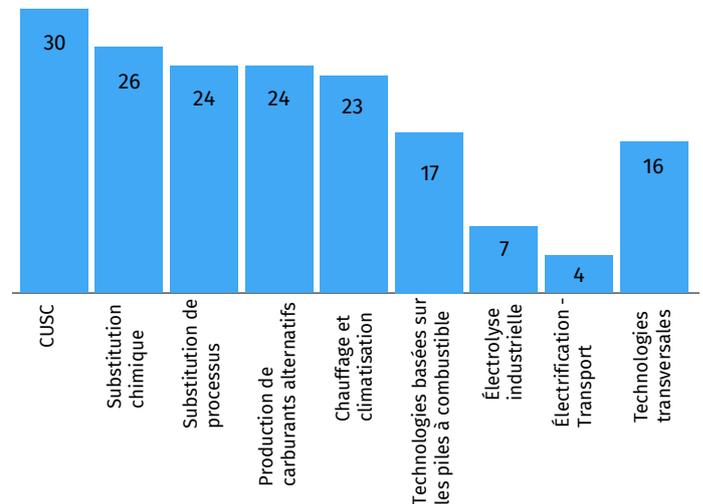
TABLEAU 9 : Carte de maturité de la technologie - DI



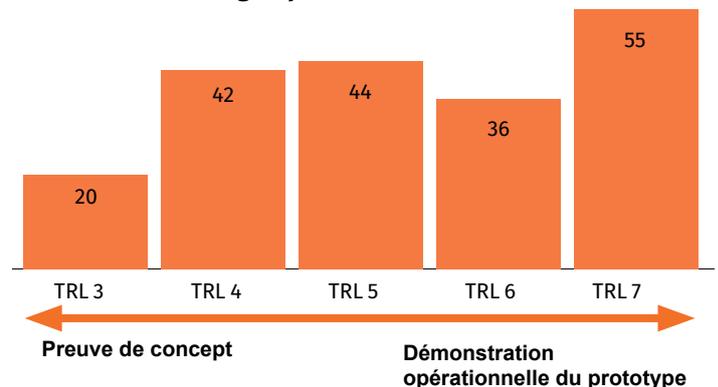
Dans le domaine de la décarbonation industrielle, environ 200 technologies des TRL 3 à 7 ont été identifiées et évaluées. La plupart de ces technologies sont en phase post-conception, dont près de 50 % au stade du prototype ou des essais pilotes. Les technologies peuvent être classées en six grands groupes, le captage, l'utilisation et le stockage du carbone (CUSC) étant le plus étudié à l'échelle mondiale.

TABLEAU 10 : Types de technologies et répartition entre les TRL - DI

Nombre de technologies par type de technologie



Nombre de technologies par TRL



EI DI Certaines technologies ont un impact transversal en améliorant l'efficacité globale des processus et de l'énergie, ainsi qu'en contribuant à la décarbonation. Il s'agit notamment de la charge avancée des technologies telles que la charge ultra-rapide et la charge inductive, les technologies de surveillance et les technologies liées au recyclage des batteries. Ces technologies ont une composante numérique importante et contribuent à la décarbonation d'industries spécifiques en améliorant l'efficacité matérielle et énergétique. L'intégration de ces technologies transversales est essentielle pour atteindre des objectifs de durabilité plus larges et garantir que les efforts en matière d'énergie intelligente et de décarbonation industrielle sont efficaces et évolutifs.

3.5 Impacts et ODD

La promotion des objectifs de développement durable (ODD) se fait à au moins deux niveaux: au niveau national et au niveau technologique. En conséquence, les théories sous-jacentes du changement changent. La mesure dans laquelle chaque pays fournit un environnement favorable à l'innovation et à l'adoption des technologies d'énergie propre et de décarbonation a à son tour un impact sur la promotion des ODD1. Au niveau national, créant une interaction dynamique entre les politiques nationales et les progrès technologiques. Les 28 pays ciblés stimulent actuellement l'innovation dans les domaines de l'économie sociale et de l'identité avec un ensemble comparable d'initiatives majeures, dont certaines initiatives régionales s'étendant sur plusieurs pays.

TABLEAU 11 : Aperçu des initiatives nationales dans les Amériques

Pays	Nombre d'initiatives
Brésil	7
Mexique	2
Costa Rica	1
Panama	1
République dominicaine	1
Équateur	1

Focus sur la technologie

Énergie intelligente	Décarbonation industrielle
Réseaux intelligents	Carburants durables
Systèmes de stockage d'énergie	Économie circulaire
Intégrer les sources d'énergie renouvelable (EnR)	

EI Dans les Amériques, une initiative notable en matière d'énergie intelligente est « RENovables in Latin America and the Caribbean » (RELAC). Cette initiative comprend 16 pays membres et est menée par des parties prenantes telles que le Laboratoire national des énergies renouvelables (NREL), le Partenariat mondial pour l'action climatique (GCAP) et la Banque interaméricaine de développement (BID). Le RELAC se concentre sur l'élaboration de plans d'action nationaux en matière de stockage de l'énergie, le renforcement des capacités, le soutien à la planification stratégique et l'assistance technique. De plus, il vise à créer un réseau de parties prenantes pour l'échange de connaissances et la diffusion régionale du contenu. Le projet est financé par la BID et le NREL, mettant en évidence le rôle central de la collaboration internationale dans l'avancement des solutions de stockage d'énergie.

TABLEAU 12 : Aperçu des initiatives nationales en Afrique et en Europe

Pays	Nombre d'initiatives
Moldavie	4
Serbie	1
Afrique du Sud	6
Ghana	6
Nigéria	6
Kenya	4
Rwanda	3
Ile Maurice	1
Égypte	1

Focus sur la technologie

Énergie intelligente	Décarbonation industrielle
Réseaux intelligents	Carburants durables
Systèmes de stockage d'énergie	Économie circulaire
Rendement énergétique	Rendement énergétique

EI L'évaluation a identifié plusieurs initiatives régionales clés dans le domaine de l'énergie intelligente à travers l'Afrique. Parmi les actions notables, citons « Smart Energy Solutions for Africa » qui est active dans de nombreux pays sélectionnés tels que le Ghana, le Kenya, le Malawi, le Maroc, le Nigeria, le Rwanda, l'Afrique du Sud et la Tanzanie. Une autre initiative importante est « Dynamiser le développement », axée sur le Kenya, le Nigeria, le Ghana, le Rwanda, le Malawi, le Sénégal et la Tanzanie. Ces projets sont financés par des sources publiques et privées, avec l'appui d'organismes internationaux de développement.

DI Dans le domaine de la décarbonation industrielle, l'évaluation met en avant le « Programme de développement de projets » et l'« Alliance africaine pour l'économie circulaire (ACEA) ». L'ACEA opère dans 13 pays africains, promouvant l'efficacité des matériaux et les pratiques d'économie circulaire. L'alliance soutient l'élaboration de politiques et le plaidoyer, ainsi que la mise à l'échelle de projets d'économie circulaire, avec le soutien financier d'un fonds fiduciaire multidonateurs. Les activités comprennent l'élaboration de politiques, l'engagement des parties prenantes et le soutien aux micro, petites et moyennes entreprises (MPME) innovantes, y compris le soutien financier, l'accès au marché et la création de réseaux.

¹ Plus précisément l'ODD 1 (Pas de pauvreté), l'ODD 9 (Industrie, innovation et infrastructure) et l'ODD 13 (Action contre les changements climatiques)

TABLEAU 13 : Aperçu des initiatives nationales en Asie et en Océanie

Pays	Nombre d'initiatives
Inde	9
Cambodge	6
Indonésie	4
Papouasie-Nouvelle-Guinée	3
Kazakhstan	2
Thaïlande	2
Jordanie	1

Focus sur la technologie

Énergie intelligente	Décarbonation industrielle
Réseaux intelligents	CUSC
Mégadonnées	Carburants durables
Systèmes de stockage d'énergie	Économie circulaire
Rendement énergétique	Rendement énergétique

EI En Asie et en Océanie, l'accent est mis sur l'amélioration de l'efficacité énergétique, les réseaux intelligents et les systèmes de stockage d'énergie par batterie (BESS). Les efforts visent à améliorer l'infrastructure technique et l'efficacité opérationnelle. Par exemple, l'initiative « Smart Grid Initiative de la Coopération économique Asie-Pacifique (APEC) » promeut les technologies de réseau intelligent dans toute la région afin de relever les défis énergétiques tels que la sécurité, la résilience, l'efficacité et la durabilité.

EI **Les technologies énergétiques intelligentes** recèlent un potentiel considérable pour promouvoir l'ODD 1 (Pas de pauvreté). Les réseaux intelligents et les systèmes énergétiques décentralisés illustrent comment les théories du changement peuvent être articulées pour soutenir l'innovation technologique dans le domaine de l'énergie intelligente dans les contextes des pays en développement, en abordant les ODD les plus pertinents. En améliorant l'accès à l'énergie et la fiabilité, ces technologies peuvent stimuler la croissance économique, améliorer le niveau de vie et réduire la pauvreté. L'intégration des technologies numériques telles que l'IA, le ML et l'IoT dans les systèmes énergétiques amplifie encore ces impacts en optimisant la distribution et la consommation d'énergie, favorisant ainsi le développement durable.

DI **Les technologies de décarbonation industrielle** ont un impact particulier sur la promotion de l'ODD 9 (Industrie, innovation et infrastructure) et de l'ODD 13 (Action contre les changements climatiques). Les innovations dans ce domaine visent à remplacer les technologies à forte intensité d'émissions par des alternatives à faible émission de carbone, ce qui favorise l'efficacité industrielle et réduit les émissions de gaz à effet de serre. Les technologies CUSC fournissent un exemple convaincant de la façon dont les théories du changement peuvent être formulées pour soutenir l'innovation technologique dans la décarbonation industrielle dans les contextes des pays en développement. En capturant et en réutilisant les émissions de carbone, ces technologies contribuent à l'action climatique tout en favorisant l'innovation industrielle et le développement des infrastructures. À mesure que les pays progressent sur le plan économique, l'adoption de technologies de décarbonation avancées telles que le CUSC, la production de carburants alternatifs et l'utilisation de l'hydrogène dans les processus industriels devient de plus en plus viable, favorisant ainsi une croissance industrielle durable.

4. Conclusion et perspectives d'avenir

L'hétérogénéité entre les groupes de parties prenantes critiques identifiés, leurs différents rôles et leur différent degré d'engagement tout au long du processus de développement de l'innovation technologique montrent qu'il existe un écosystème complexe et multiforme qui stimule et façonne l'innovation technologique dans les deux domaines thématiques. Il est essentiel de comprendre le paysage des acteurs clés et de faciliter les interactions entre les parties prenantes concernées pour faire progresser et accélérer les technologies propres, en particulier celles qui nécessitent une combinaison d'expertise spécialisée et d'investissements financiers importants. Cela comprend:

- Faciliter le transfert de connaissances pour les parties prenantes locales, y compris les représentants du gouvernement, les chefs de file de l'industrie et les membres de la communauté, pourrait soutenir l'établissement d'une expertise essentielle pour la mise en œuvre et le maintien de nouvelles technologies, améliorant ainsi la durabilité et l'évolutivité des projets.
- La collaboration avec des entreprises du secteur privé, des associations industrielles et des ONG peut encore améliorer l'évolutivité, la reproductibilité et le déploiement global de solutions innovantes.
- Les partenariats public-privé peuvent donner accès à des ressources, à une expertise et à des financements supplémentaires. Par exemple, les entreprises technologiques peuvent offrir une formation spécialisée sur leurs produits, tandis que les associations industrielles peuvent aider à identifier les lacunes en matière de compétences et les besoins en formation.

En outre, il est essentiel de veiller à ce que les interventions soient inclusives et équitables, en particulier dans les zones rurales où les femmes et les minorités sont touchées de manière disproportionnée par la pénurie d'énergie. L'autonomisation des femmes grâce à l'accès à des solutions énergétiques intelligentes peut entraîner des avantages socio-économiques significatifs.



Garantir l'accès à l'énergie et la formation à la maintenance et à l'exploitation de ces systèmes permet d'autonomiser les femmes économiquement et socialement et de leur permettre de participer activement à la transition énergétique.

Si tous les pays en développement peuvent grandement bénéficier des progrès réalisés en matière de technologies propres, certains pays se distinguent par leur potentiel compte tenu de leur développement économique, de la taille de leur population et de la maturité des cadres politiques pertinents. Parmi ces pays figurent l'Inde, le Brésil, le Mexique, l'Afrique du Sud et la Thaïlande.

L'évaluation a révélé qu'il existe à ce jour un large éventail de technologies dans la gamme de TRL 3 à 7, et que certains projets phares notables fournissent des orientations sur la manière dont des solutions technologiques innovantes en EI et en DI peuvent être mises à l'échelle avec succès et appliquées en tant que nouvelle solution dans différents contextes. Si les technologies à un stade précoce de développement peuvent s'avérer cruciales pour les efforts futurs de lutte contre le changement climatique, les technologies de niveau de développement supérieur ont déjà démontré leur faisabilité et leur efficacité. Cela implique une réduction significative des risques techniques et financiers associés à leur mise en œuvre, ce qui les rend plus attractifs pour les investisseurs et les parties prenantes ayant une plus faible propension au risque. Les gouvernements et les organismes de réglementation, par exemple, ont tendance à être plus enclins à soutenir le déploiement de technologies qui ont été validées dans des conditions réelles. La maturité plus élevée des technologies permet un déploiement plus rapide par rapport aux technologies à un stade plus avancé, ce qui entraîne des impacts plus immédiats sur l'efficacité énergétique, la réduction des émissions et le développement économique, ce qui rend plus tangible la contribution à la lutte contre le changement climatique et à la réalisation des ODD.





Vienna International Centre
Wagramerstr. 5, P.O. Box 300,
A-1400 Vienna, Austria



+43 1 26026-0



<https://a2dfacility.unido.org>



A2DFacility@unido.org



ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL