

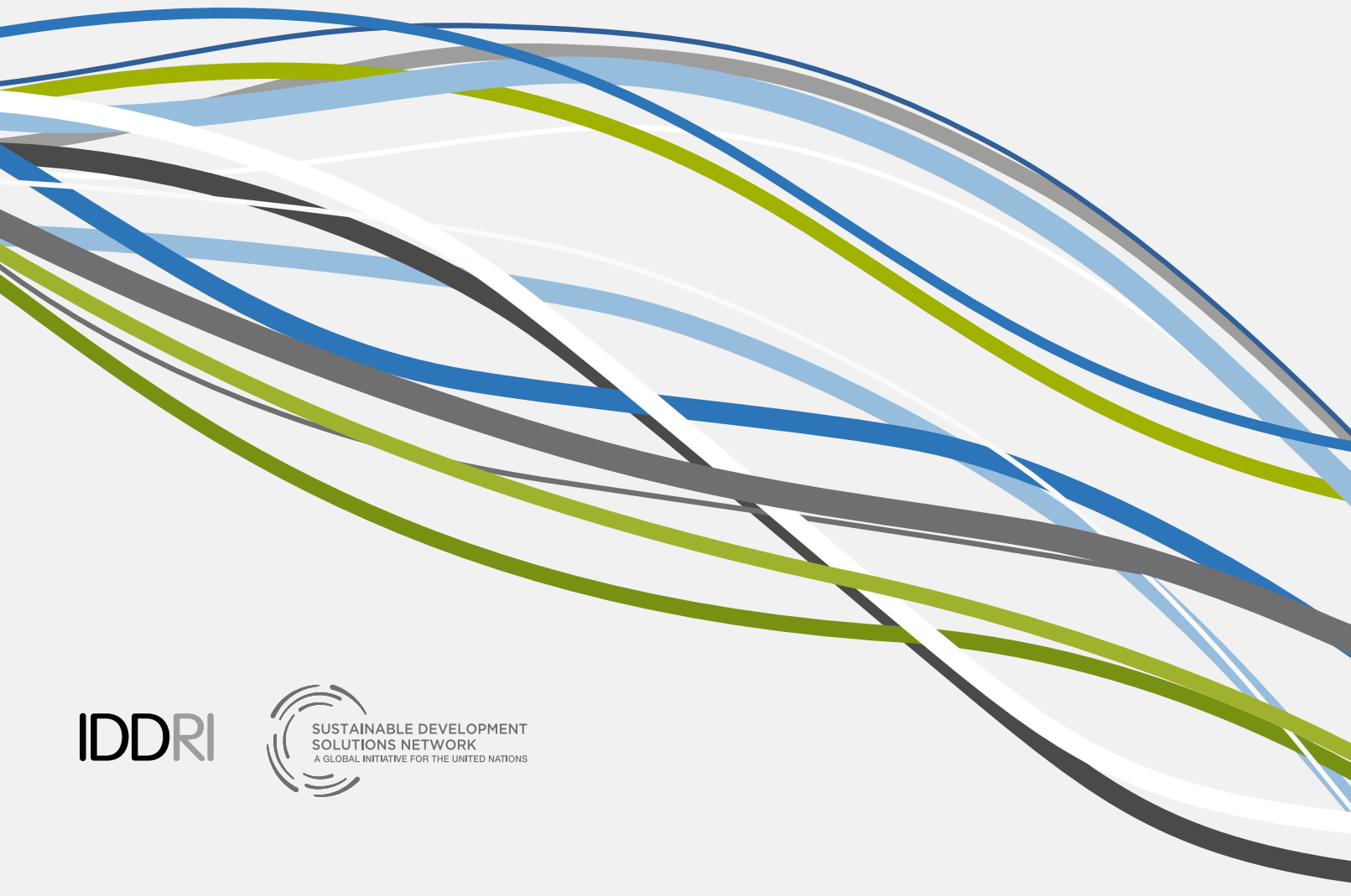
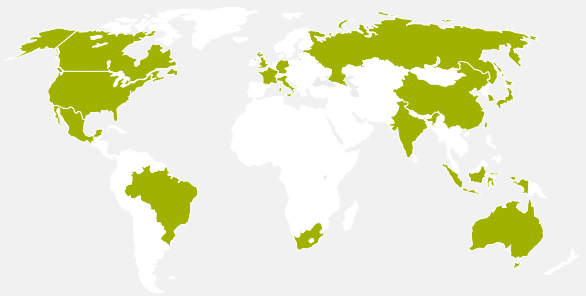


DEEP  
DECARBONIZATION  
PATHWAYS  
PROJECT

Rapport 2015

*Résumé exécutif*

*trajectoires de*  
**décarbonation profonde**



IDDRI



SUSTAINABLE DEVELOPMENT  
SOLUTIONS NETWORK  
A GLOBAL INITIATIVE FOR THE UNITED NATIONS

Publié par le Sustainable Development Solutions Network (SDSN) et l'Institut du développement durable et des relations internationales (Iddri)

Septembre 2015

Ce résumé exécutif et les rapports par pays produits dans le cadre de cette analyse sont disponibles en ligne sur le site [www.deepdecarbonization.org](http://www.deepdecarbonization.org)

Copyright © 2015 SDSN - IDDRI

Toute utilisation commerciale (en version imprimée ou électronique) de ce document est interdite. La reproduction et la communication du contenu est autorisée à des fins personnelles, dans le cadre de recherches ou à des fins pédagogiques, sous réserve de citation (référence bibliographique et/ou URL correspondante).

Citation :

Deep Decarbonization Pathways Project (2015). *Rapport 2015 sur les trajectoires de décarbonation profonde* — Résumé exécutif, SDSN – IDDRI.

## IDDRI

Institut de recherche sur les politiques, l'Institut du développement durable et des relations internationales (IDDRI) a pour objectif d'élaborer et de partager des clés d'analyse et de compréhension des enjeux stratégiques du développement durable dans une perspective mondiale. Basé à Paris, l'IDDRI accompagne les différents acteurs dans la réflexion sur la gouvernance mondiale des grands problèmes collectifs que sont la lutte contre le changement climatique, la protection de la biodiversité, la sécurité alimentaire ou l'urbanisation et participe aux travaux sur la redéfinition des trajectoires de développement.



Le secrétaire-général des Nations Unies, Ban Ki-moon, a demandé au Sustainable Development Solutions Network (Réseau des solutions pour le développement durable — SDSN) de mobiliser les expertises techniques et scientifiques du monde universitaire, de la société civile et du secteur privé dans l'objectif de résoudre les problèmes de développement durable à l'échelle locale, nationale et mondiale.

Le SDSN est structuré autour de réseaux nationaux et régionaux d'institutions du savoir et de groupes thématiques qui travaillent à l'identification de solutions. Parallèlement, il développe une plateforme universitaire en ligne pour le développement durable, SDSNedu.

## Mentions légales

Ce rapport a été rédigé par un groupe d'experts indépendants qui n'ont pas été désignés par leurs gouvernements respectifs. Les opinions exprimées ne reflètent pas nécessairement le point de vue d'un gouvernement ni celui d'une organisation, d'une agence ou d'un programme des Nations unies.

Directeurs de la publication : Teresa Ribera, Jeffrey Sachs

Éditeurs : Jim Williams, Henri Waisman, Laura Segafredo

Mise en page et graphiques : Ivan Pharabod, Christian Oury

*Le Projet pour des trajectoires de décarbonation profonde (DDPP) est conduit sous l'égide de l'Institut du développement durable et des relations internationales (Iddri) et du Sustainable Development Solutions Network (SDSN).*

**Il est dirigé par :**

**Teresa Ribera**, directrice, Iddri

**Jeffrey Sachs**, directeur, SDSN

**Michel Colombier**, directeur scientifique, Iddri

**Guido Schmidt-Traub**, directeur exécutif, SDSN

**Henri Waisman**, directeur DDPP, Iddri

**Jim Williams**, directeur DDPP, SDSN

**Laura Segafredo**, chef de projet senior DDPP, SDSN

**Roberta Pierfederici**, chef de projet DDPP, Iddri

#### **Le rapport a été conjointement préparé par les membres des 16 équipes de recherche pays du DDPP :**

**Afrique du Sud** : Hilton Trollip (The Energy Research Centre, ERC, University of Cape Town, UCT) ; Katy Altieri (ERC, UCT) ; Alison Hughes (ERC, UCT) ; Tara Caetano (ERC, UCT) ; Bruno Merven (ERC, UCT) ; Harald Winkler (ERC, UCT). **Allemagne** : Katharina Hillebrandt (Wuppertal Institute - WI) ; Sascha Samadi (WI) ; Manfred Fischedick (WI). **Australie** : Amandine Denis (ClimateWorks Australia) ; Frank Jotzo (Crawford School of Public Policy, Australian National University) ; Anna Skrabek (ClimateWorks Australia). **Brésil** : Emilio La Rovere (COPPE, Federal University, Rio de Janeiro, UFRJ - COPPE) ; Claudio Gesteira (COPPE) ; William Wills (COPPE) ; Carolina Grottera (COPPE). **Canada** : Chris Bataille (Navius Research, Simon Fraser University) ; Dave Sawyer (Carbon Management Canada) ; Noel Melton (Navius Research). **Chine** : Fei Teng (Institute of Energy, Environment, Economy, Tsinghua University - 3E) ; Qiang Liu (National Center for Climate Change Strategy and International Cooperation, NCSC) ; Alun Gu (3E) ; Xi Yang (3E) ; Xin Wang (3E) ; Yi Chen (NCSC) ; Chuan Tian (NCSC) ; Xiaoqi Zheng (NCSC). **Corée du Sud** : Soogil Young (School of Public Policy and Management, Korea Development Institute, KDI) ; Chang-hoon Lee (Korea Environment Institute) ; Yong-sung Cho (Korea University College of Life Sciences and Biotechnology) ; Jae-hak Oh (Korea Transport Institute). **États-Unis** : Jim Williams (Energy + Environmental Economics, E3) ; Ben Haley (E3) ; Sam Borgeson (E3). **France** : Patrick Criqui (Université Grenoble Alpes, CNRS, EDDEN, PACTE) ; Sandrine Mathy (Université Grenoble Alpes, CNRS, EDDEN, PACTE) ; Jean-Charles Hourcade (Centre international de recherche sur l'environnement et le développement, CIRED). **Inde** : P.R. Shukla (Indian Institute of Management, Ahmedabad - IIMA) ; Subash Dhar (UNEP DTU Partnership) ; Minal Pathak (Centre for Urban Equity and Faculty of Planning, CEPT University, Ahmedabad - CEPT) ; Darshini Mahadevia (CEPT) ; Amit Garg (IIMA). **Indonésie** : Ucock W.R. Siagian (Center for Research on Energy Policy-Bandung Institute of Technology, CRE-ITB) ; Retno Gumilang Dewi (CRE-ITB) ; Iwan Hendrawan (CRE-ITB) ; Rizaldi Boer (Centre for Climate Risk and Opportunity Management-Bogor Agriculture University, CCROM-IPB) ; Gito Emmanuel Gintings (CCROM-IPB). **Italie** : Maria Rosa Viridis (Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development - ENEA) ; Maria Gaeta (ENEA) ; Isabella Alloisio (Fondazione Eni Enrico Mattei). **Japon** : Mikiko Kainuma (National Institute for Environmental Studies, NIES) ; Ken Oshiro (Mizuho Information and Research Institute, MIRI) ; Go Hibino (MIRI) ; Toshihiko Masui (NIES). **Mexique** : Daniel Buirra (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC) ; Jordi Tovilla. **Royaume-Uni** : Steve Pye (University College London, UCL, Energy Institute) ; Gabriel Anandarajah (UCL, Energy Institute). **Russie** : Oleg Lugovoy (Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, RANEPA) ; Georges Safonov (High School of Economics, Moscou) ; Vladimir Potashnikov (RANEPA).

#### **Les organisations partenaires suivantes participent au DDPP :**

German Development Institute (GDI) ; Agence internationale de l'énergie (AIE) ; International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) ; World Business Council on Sustainable Development (WBCSD).

## Remerciements

Le DDPP tient à remercier ses nombreux soutiens pour leur généreuse aide financière et notamment la Children's Investment Fund Foundation (CIFF), la coopération allemande (GIZ), le ministère allemand de l'Environnement, la Gross Family Foundation, la Fondation européenne pour le climat (ECF), l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), l'Iddri et le SDSN. De nombreuses autres institutions ont offert leur assistance directe à des partenaires de recherche dans les différents pays.

Léna Spinazzé, Pierre Barthélemy, Delphine Donger et toute l'équipe de l'Iddri ont fourni une aide inestimable pour la préparation de ce rapport, de même que l'équipe du SDSN, ainsi que Ivan Pharabod, Christian Oury, Eva Polo Campos, Miguel Lopez et Caty Arevalo.

## 1 Qu'est-ce que le DDPP ?

**Objectif** : Le projet pour des trajectoires de décarbonation profonde (*Deep Decarbonization Pathways Project*, DDPP) est une initiative de recherche collaborative menée à l'échelle internationale qui a pour but de comprendre comment les différents pays peuvent opérer une transition vers une économie sobre en carbone compatible avec les objectifs internationaux visant à contenir le réchauffement d'origine anthropique sous la barre des 2 degrés Celsius (°C). Pour respecter ce plafond, il faut que les émissions globales nettes de gaz à effets de serre (GES) tendent vers zéro dans la seconde moitié du XXI<sup>e</sup> siècle. Plus que tout autre facteur, cet objectif implique une transformation profonde des systèmes énergétiques, à travers un recul marqué de l'intensité carbone dans tous les secteurs – un processus qualifié de « décarbonation profonde ».

**Organisation** : le projet DDPP mobilise les équipes de recherche de 16 pays qui représentent, ensemble, 74 % des émissions globales actuelles de GES liées à l'énergie : l'Afrique du Sud, l'Allemagne, l'Australie, le Brésil, le Canada, la Chine, les États-Unis, la France, l'Inde, l'Indonésie, l'Italie, le Japon, le Mexique, la Corée du Sud, le Royaume-Uni et la Russie. Les membres de ces équipes travaillent dans des instituts de recherche réputés de leurs pays respectifs, et conservent leur indépendance et ne représentent pas l'opinion officielle de leurs gouvernements. Le projet DDPP est conduit par le Sustainable Development Solutions Network (SDSN) et l'Institut du développement durable et des relations internationales (Iddri) et coordonné par un secrétariat conjoint de ces deux organisations.

**Approche** : le projet DDPP comble une lacune dans le dialogue sur les politiques climatiques en proposant une vision plus concrète des mesures que

chaque pays doit prendre pour réduire ses émissions conformément à l'objectif des 2 °C. Les équipes de recherche élaborent des « trajectoires de décarbonation profonde » (DDP) – des plans établis secteur par secteur et qui détaillent l'évolution dans le temps des infrastructures physiques (centrales, véhicules, bâtiments et équipements industriels) – afin d'informer les décideurs sur les contraintes technologiques et les coûts associés aux différents scénarios de réduction des émissions. Les trajectoires DDP n'ont pas vocation à prévoir les résultats à venir, mais, en partant d'une cible d'émissions fixée pour 2050, à déterminer les mesures à prendre et les étapes à franchir pour atteindre cet objectif. Les équipes pays ont toute latitude pour définir leurs cibles, choisir leur méthode analytique et intégrer ou non dans leurs scénarios les aspirations de leur pays en termes de développement et de croissance économique ainsi que d'autres caractéristiques propres au contexte national (infrastructures existantes, préférences technologiques et dotation en ressources naturelles, par exemple). Dans le même temps, le projet DDPP est éminemment collaboratif, avec un partage transparent des méthodes, des outils, des données et des résultats entre les équipes.

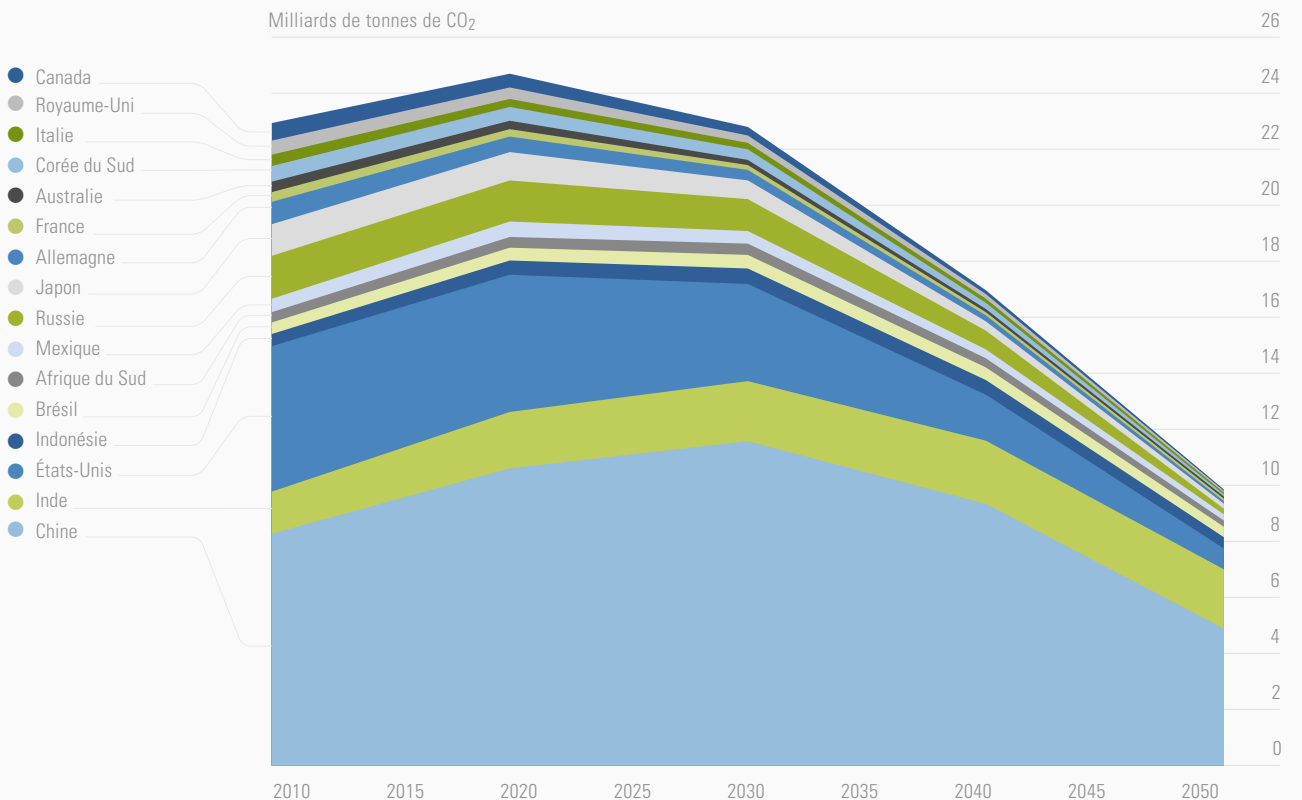
**Résultats** : lancé en octobre 2013, le projet DDPP a présenté, à l'invitation du secrétaire général des Nations unies, Ban Ki-moon, un rapport sur la première phase de ses travaux lors du Sommet sur le climat des Nations unies de septembre 2014. Ce rapport offre une synthèse des premières recherches effectuées par chaque équipe pays. À l'automne 2015, les 16 équipes publient des rapports indépendants détaillant leur travail sur les trajectoires nationales de décarbonation profonde. Parallèlement, un nouveau rapport de synthèse propose une analyse transversale de cet ensemble de résultats.

## 2 La limitation du réchauffement de la planète à 2 °C est-elle réalisable ?

La décarbonation profonde des économies actuellement les plus émettrices est techniquement faisable, même avec les scénarios attendus de croissance économique et démographique. Chaque équipe pays a produit différentes trajectoires techniquement faisables qui placent leur économie sur la voie de la décarbonation profonde. Pris ensemble, ces scénarios permettent de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie pour les 16 pays DDPP à l'horizon 2050 à 9,9-12,1 milliards de tonnes (Gt), soit 46-56 % en deçà des

niveaux de 2010 (Figure 1). Ils intègrent un taux de croissance démographique attendue de 17 % en moyenne pour tous les pays DDPP sur la période 2010-2050 et une croissance globale du PIB de 250 % (soit un taux moyen de 3,1 % par an) sur la même période. Dans les scénarios les plus ambitieux, les émissions moyennes de CO<sub>2</sub> par habitant en 2050 ont été ramenées à 2,1 tonnes (tous pays confondus), tandis que les émissions moyennes par unité de PIB ont reculé de 87 % par rapport à 2010 (la fourchette allant de 80 à 96 %

**Figure 1. Trajectoires d'émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie, 2010-2050, faisant apparaître les scénarios de réduction les plus ambitieux pour tous les pays DDPP. Les émissions cumulées en 2050 sont inférieures de 57 % aux niveaux de 2010**

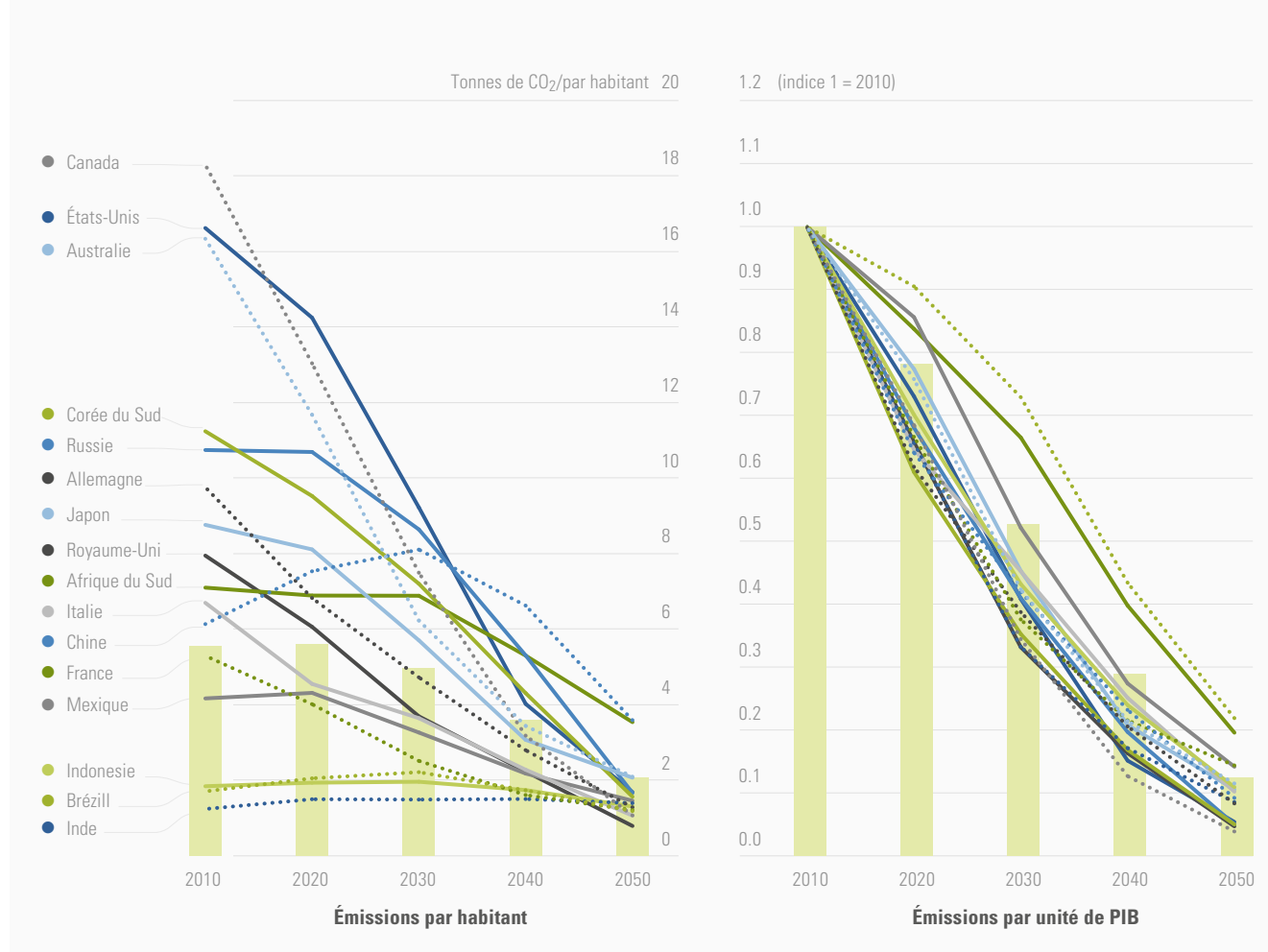


pour tous les pays) (Figure 2). L'ampleur de cette diminution de l'intensité carbone du PIB prouve que ces scénarios sont véritablement porteurs de transformations. Le regroupement des trajectoires d'intensité carbone traduit des ambitions similaires dans les différents pays DDPP, même lorsque ces trajectoires en valeur absolue reflètent des niveaux de développement économique différents.

**Ces résultats ne constituent pas une limite supérieure pour le potentiel de réduction des émissions des 16 pays étudiés.** Dans la première

phase du projet DDPP, les équipes de recherche se sont surtout efforcées de comprendre les options techniques et les conditions propices à une décarbonation profonde à l'horizon 2050 dans leurs pays respectifs sans nécessairement concevoir des trajectoires aptes à minimiser les émissions cumulées. Mais l'analyse a déjà mis en évidence des pistes pour des réductions plus importantes et une intervention plus anticipée de la transition bas carbone. Elles seront étudiées de manière plus approfondie lors de la prochaine phase de la recherche du projet DDPP.

**Figure 2. (G) Émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie par habitant dans les pays DDPP, (D) Émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie par unité de PIB pour les pays DDPP, 2010-2050 (par rapport à 2010)**



**Le cumul des émissions des pays DDPP n'est pas incompatible avec la limite des 2 °C** par rapport aux valeurs de référence du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Mais dans la mesure où 16 pays seulement sont couverts par l'analyse, si l'on veut démontrer que la limite des 2 °C ne sera probablement pas dépassée, il faut identifier les possibilités de décarbonation dans les pays non DDPP et s'attendre à devoir réaliser une baisse plus importante des émissions que dans les trajectoires actuelles

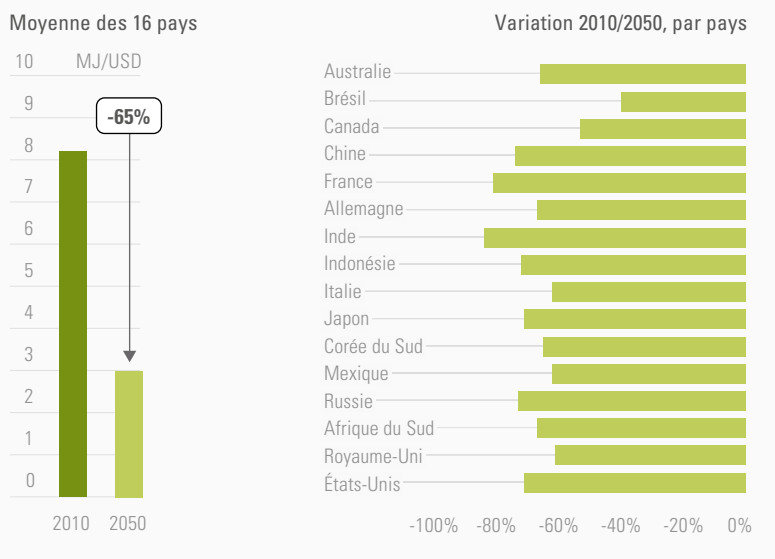
des pays DDPP. Les scénarios du projet DDPP parviennent à un total cumulé d'émissions de 805 à 847 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie entre 2010 et 2050. Le *Cinquième rapport d'évaluation du GIEC* donne des éléments pour apprécier ces niveaux d'émissions, et définit des fourchettes d'émissions de CO<sub>2</sub> en fonction des différentes hypothèses permettant de contenir le réchauffement climatique à 2 °C (**Tableau 1**). L'écart entre ces valeurs de référence et les émissions cumulées des pays DDPP s'explique par des émissions provenant de sources non analysées notamment celles résultant de l'affectation des terres et des procédés industriels et surtout les émissions liées à l'énergie des pays non DDPP – qui sont, dans la plupart des cas, des pays à faible revenu peu émetteurs pour lesquels la décarbonation profonde n'a pas encore été explorée dans le cadre du DDPP. Il n'est pas invraisemblable que les pays non DDPP puissent atteindre leurs objectifs de développement économique en suivant une trajectoire d'émissions qui, conjuguées aux émissions cumulées des pays DDPP, entraînerait un niveau global d'émissions se situant dans la plage « aussi probable qu'improbable » de probabilité de contenir le réchauffement à 2 °C. Une analyse explicite des pays non DDPP sera indispensable pour caractériser ces trajectoires d'émissions et les conditions favorables à leur mise en œuvre. Une réduction plus marquée des émissions dans les pays DDPP renforcera également la probabilité de rester sous la barre des 2 °C.

**Tableau 1. Comparaison des niveaux d'émission DDPP par rapport aux valeurs de référence du GIEC pour différentes probabilités de limitation du réchauffement à 2 °C, en fonction des niveaux cumulés d'émissions et des niveaux d'émissions en 2050**

Probabilité de contenir le réchauffement climatique en dessous de 2 °C au cours du xxie siècle (valeur de référence du Giec)	Émissions DDPP (émissions de CO <sub>2</sub> liées à l'énergie pour les pays DDPP)		
	Probable	Aussi probable qu'improbable	
Émissions cumulées de CO <sub>2</sub> d'ici 2050 (Md tonnes)	550* 1300*	1130* 1530*	805** 847**
Émissions de CO <sub>2</sub> en 2050 par rapport à 2010	-72% -41%	-55% -25%	-57% -48%

\* (2011-2050)      \*\* (2010-2050)

**Figure 3. (G) Intensité énergétique moyenne du PIB pour les pays DDPP considérés ensemble, 2010 et 2050, (D) Évolution de l'intensité énergétique pour chaque pays DDPP, 2010 à 2050**



**Toutes les trajectoires de décarbonation profonde intègrent « trois piliers » de la transformation du système énergétique :** 1) efficacité énergétique et conservation de l'énergie ; 2) décarbonation de l'électricité et des carburants ; et 3) conversion des utilisations finales vers des sources d'énergie à faible teneur en carbone. Ces mesures ont toutes été appliquées en recourant à des technologies déjà disponibles ou qui le seront au cours de la durée de l'analyse. Les trajectoires DDP attestent des multiples solutions permettant

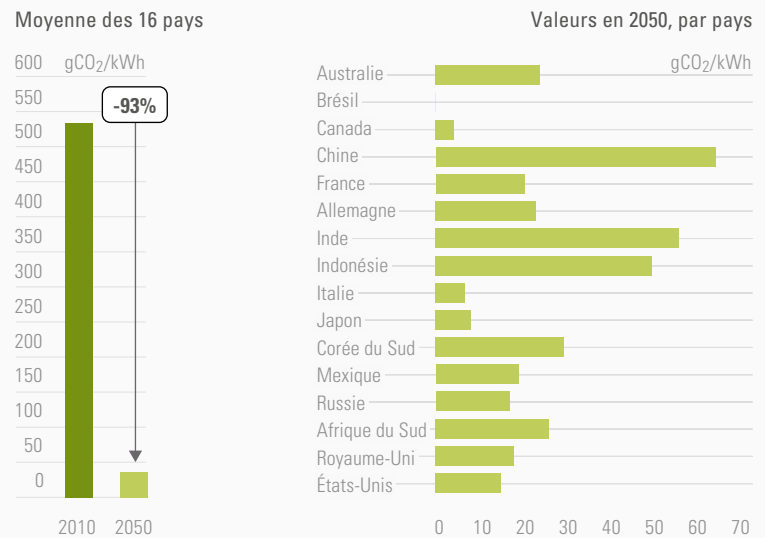


de mettre en œuvre ces trois piliers, en fonction des stratégies propres à chaque pays, des choix technologiques opérés et de l'organisation chronologique des actions. Toutefois, en raison d'effets interconnectés – le fait par exemple d'utiliser une électricité bas carbone pour électrifier les véhicules –, la décarbonation profonde ne pourra pas être obtenue si l'un quelconque de ces piliers manque ou n'est pas déployé à suffisamment grande échelle.

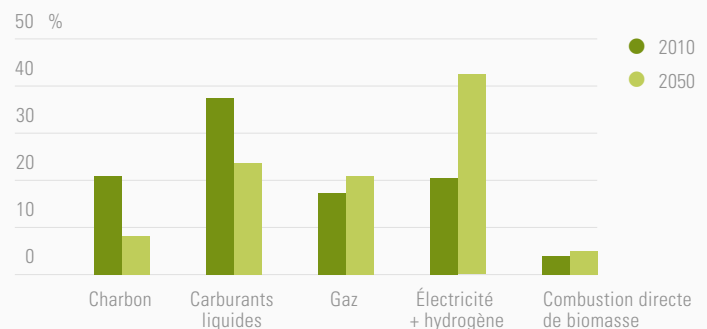
**L'efficacité énergétique réduit l'intensité énergétique du PIB de 65 % en moyenne**, pratiquement tous les pays s'efforçant de rendre leurs économies deux à quatre fois plus efficaces en matière d'énergie en 2050 qu'en 2010 (Figure 3). Ce résultat est obtenu grâce à des mesures telles que le déploiement de véhicules moins consommateurs en carburants, une conception des bâtiments et des matériaux de construction plus adaptés, des appareils électriques, des procédés et des équipements industriels plus éconergétiques, en parallèle des mesures de conservation, comme un aménagement urbain favorisant la marche à pied et le vélo.

Dans toutes les trajectoires DDP, l'électricité est produite sans pratiquement plus aucune émission de carbone à l'horizon 2050, avec des émissions moyennes par kWh réduites selon un facteur de 15 en deçà de la valeur de 2010 (Figure 4). Pour ce faire, les pays remplacent progressivement la production d'électricité à base de combustibles fossiles la moins contrôlable par différents mix énergétiques (éolien, solaire, géothermie et hydroélectricité ; nucléaire ; et captage et séquestration du carbone pour la production à base de combustibles fossiles). De plus, la décarbonation des carburants liquides et gazeux est rendue possible par l'utilisation de biomasse à faibles émissions de carbone et de combustibles de synthèse comme l'hydrogène produit à partir d'une électricité décarbonée. La tendance dominante dans la consommation finale d'énergie consiste à remplacer le charbon et le pétrole par de l'électricité et des carburants à

**Figure 4. (G) Intensité carbone moyenne de l'électricité pour les pays DDPP considérés ensemble, 2010 et 2050, (D) Intensité carbone de l'électricité en 2050, pour chaque pays DDPP**



**Figure 5. Part des différents types de vecteurs énergétiques dans la consommation finale d'énergie**



plus faibles émissions de carbone, y compris, dans certaines trajectoires DDP, en passant du charbon au gaz naturel. L'essentiel de la combustion directe des combustibles fossiles dans les équipements de consommation comme les voitures, les chauffe-eau et les chaudières industrielles est remplacé par une électricité décarbonée, de sorte que la part de l'électricité dans la consommation énergétique finale fait plus que doubler en 2050, dépassant la barre des 40 % (Figure 5).

### 3 La décarbonation profonde est-elle compatible avec le développement et la croissance économique ?

**La décarbonation profonde intègre les services énergétiques requis pour respecter les objectifs de croissance économique des pays et leurs priorités sociales.** Dans les trajectoires DDP, les systèmes énergétiques ont été conçus pour intégrer tous les services indispensables à la réalisation des objectifs nationaux y compris, dans les pays en développement, un élargissement de l'accès à l'énergie. Les pays ne renoncent pas à transporter des passagers et du fret, à proposer des installations publiques et des logements identiques ou de meilleure qualité et à soutenir une activité industrielle et commerciale intense. Les pays à faible revenu ont pris en compte des niveaux de croissance du PIB requis pour concrétiser leurs objectifs de développement et une augmentation de la consommation d'énergie par habitant découlant de l'accès de la population aux services énergétiques et à l'amélioration des niveaux de vie. Le volume d'infrastructures nécessaires pour étayer ces services est indiqué par le cumul des déploiements technologiques dans le temps pour toutes les trajectoires DDP. Ainsi d'ici 2050, les trajectoires DDP font apparaître un déploiement cumulé de 3 800 GW d'électricité solaire et de 4 100 GW d'énergie éolienne, parallèlement à 1,2 milliard de véhicules de tourisme fonctionnant à l'électricité, à piles à combustible ou hybrides rechargeables et 250 millions de véhicules utilitaires à carburant alternatif.

**Les trajectoires DDP montrent que la décarbonation profonde peut étayer le développement durable et présente de nombreux avantages potentiels,** dont le principal est d'éviter un changement climatique délétère. Un changement climatique non maîtrisé risque de rejaillir sur le bien-être dans tous les pays, les populations les plus vulnérables

étant potentiellement les plus affectées. Dans les pays en développement, il contrarie bon nombre des objectifs de développement. Inversement, les trajectoires DDP prouvent que, sous réserve de conditions propices, la transformation infrastructurelle imposée par la décarbonation profonde pourrait être associée à de multiples retombées économiques et environnementales bénéfiques et à des solutions pour rehausser les niveaux de vie.

**Pour que ces bénéfices puissent être mis en œuvre dans les pays en développement, les technologies bas carbone doivent être abordables et la planification énergétique doit intégrer les priorités sociales.** En témoigne la trajectoire DDP de l'Afrique du Sud, qui démontre que l'on peut procéder à une décarbonation profonde tout en améliorant la distribution du revenu, en faisant reculer la pauvreté et en réduisant le chômage. Les trajectoires DDP de l'Inde sont elles aussi structurées autour du rôle de la décarbonation profonde pour soutenir un développement durable.

**Les exigences élevées sur le plan de l'efficacité énergétique en vue de la décarbonation profonde constituent une stratégie essentielle pour réduire la précarité énergétique et améliorer l'accès à l'énergie.** L'efficacité énergétique réduit le coût de l'approvisionnement et réduit donc les dépenses d'énergie des ménages, qui représentent souvent une part importante du budget des plus pauvres. Avec un approvisionnement moins cher, les ménages peuvent se permettre d'utiliser davantage les services énergétiques. L'importance de l'efficacité énergétique comme stratégie de lutte contre la précarité énergétique a été

mise en évidence dans les trajectoires DDP de pays en développement, mais également dans celles de l'Allemagne, de la France ou du Royaume-Uni.

**La réduction des émissions de combustibles fossiles non contrôlées entraîne des bénéfices importants en termes de santé publique**, comme l'illustrent le cas de la Chine et de l'Inde, puisque ce type de combustion est le premier responsable de la pollution atmosphérique. Dans la trajectoire DDP de la Chine, la décarbonation profonde permet une diminution allant de 42 à 79 % des polluants atmosphériques primaires (dioxyde de soufre [SO<sub>2</sub>], oxydes d'azote [NO<sub>x</sub>], particules d'un diamètre inférieur ou

égal à 2,5 micromètres [PM<sub>2.5</sub>], composés organiques volatils [COV] et ammoniac [NH<sub>3</sub>]) – un recul suffisant pour permettre aux grandes villes du pays de respecter les normes de qualité de l'air.

**La réduction de la demande de combustibles fossiles peut renforcer la sécurité énergétique des pays importateurs d'énergie** et, limiter leur exposition à la volatilité des cours internationaux, comme en témoignent les trajectoires DDP de l'Italie et du Japon. Par ailleurs, pour des pays exportateurs de ressources comme la Russie, la diversification des sources d'énergie offre également des avantages économiques.

## 4 La décarbonation profonde est-elle financièrement abordable ?

L'expression « décarbonation profonde » désigne avant tout le processus d'optimisation dans le temps des infrastructures, qui consiste à remplacer les technologies non efficaces et à forte teneur en carbone par des technologies efficaces et bas carbone qui assurent les mêmes services énergétiques (voire des services meilleurs). Pour les économies en développement connaissant une croissance démographique rapide, cela implique d'éviter les investissements dans des technologies à forte teneur en carbone et de brûler les étapes de développement typiques du XX<sup>e</sup> siècle. À l'échelle planétaire, cela impose de déployer une grande quantité de nouveaux équipements reposant sur des technologies propres – depuis les éclairages LED et les pompes à chaleur électriques à l'énergie solaire en passant par la production d'hydrogène. Pour inciter les consommateurs à se convertir à ces technologies, il faudra engager un processus constant d'amélioration et de réduction des coûts, dans lequel les politiques joueront un rôle central.

Avec la décarbonation profonde, les ordres de grandeur des investissements dans les technologies bas carbone seront bien supérieurs aux niveaux actuels, ce qui ouvre d'importantes perspectives commerciales pour les pays et les entreprises tournés vers l'avenir (Tableau 2). Au vu de la rentabilité attendue, les acteurs internationaux de la finance peuvent apporter et apporteront les sommes nécessaires, à condition que les signaux adéquats sur le long terme soient en place pour gérer les risques et préserver dans

**Table 2 Investissements annuels dans les principales technologies à faible émission de carbone, et part de ces investissements dans le PIB, pour les pays DDPP**

	2020	2030	2040	2050	
Investissements annuels dans les 16 scénarios DDPP (milliards USD)	Production d'électricité à faibles émissions de carbone	270	514	701	844
	Production de carburant à faibles émissions de carbone	57	117	124	127
	Véhicules (passagers et fret) à faibles émissions de carbone	157	333	626	911
	Total	484	963	1452	1882
Investissements annuels dans des technologies à faibles émissions de carbone en part du PIB (%)	0.8%	1.2%	1.3%	1.3%	

le temps la valeur des capitaux investis. Parce qu'il privilégie l'efficacité de l'utilisation finale d'énergie (permise par différents types de technologies) et les sources d'énergie bas carbone (qui peuvent être distribuées plus largement), un monde ayant opté pour la décarbonation profonde consentira des investissements énergétiques moins concentrés (comme c'est le cas pour les énergies fossiles) et devrait laisser aux consommateurs une place plus grande dans les décisions décentralisées d'investissement. D'où la nécessité d'incitations pour orienter les décisions d'investissement dans l'énergie vers des solutions bas carbone, surtout lorsque le coût du capital reste élevé mais est compensé par de faibles coûts opérationnels, notamment aux premières phases du déploiement, avant que les économies d'échelle ne se soient concrétisées.

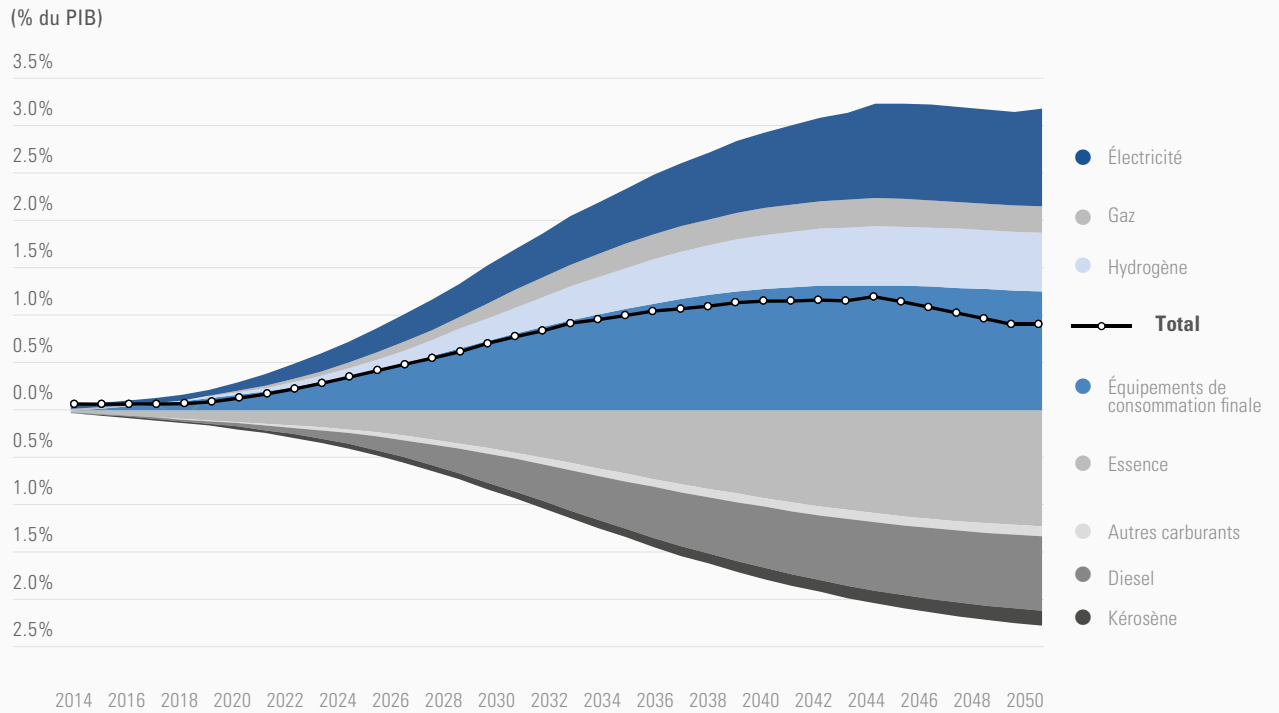
**Les investissements énergétiques réalisés dans le cadre de la décarbonation profonde ne représentent pas une hausse majeure du total des investissements énergétiques requis en l'absence de politiques climatiques**, mais bien une réorientation de ces investissements au profit des technologies bas carbone. L'investissement brut nécessaire pour les technologies bas carbone dans les trajectoires de décarbonation profonde équivaut à 1-2 % du PIB des pays DDPP, soit 6-7 % de leurs investissements annuels tous secteurs confondus qui s'élèvent au total en moyenne à environ un quart du PIB (tableau 2). Engagée avec clairvoyance, l'évolution économique du secteur de l'énergie provoquée par la décarbonation profonde équivaut avant tout à une réaffectation des investissements qui voit l'investissement énergétique se détourner progressivement des énergies fossiles à mesure que la demande diminue, pour privilégier les technologies bas carbone.

**Le coût net de la production et de l'utilisation de l'énergie** dans le cadre de la décarbonation profonde recouvre en général des dépenses supérieures pour les équipements éconergétiques par rapport aux équipements conventionnels ; celles-ci sont néanmoins compensées par les économies réalisées sur les com-

bustibles fossiles et l'énergie en général. La trajectoire des États-Unis en témoigne, puisque le coût net de la production et de l'utilisation de l'énergie établi dans le scénario de décarbonation profonde en 2050 équivaut à environ 1 % du PIB cette année-là (Figure 6). Une hausse modérée des dépenses d'équipement ne se traduit pas obligatoirement par un coût final de l'énergie plus élevé, grâce aux mesures d'efficacité et de conservation de l'énergie. La trajectoire DDP de l'Australie le démontre, où les dépenses énergétiques et de transport des ménages diminuent en valeur absolue grâce aux économies d'énergie. Et à mesure que le PIB augmente, les dépenses d'énergie diminuent davantage en part du revenu moyen des ménages (Figure 7).

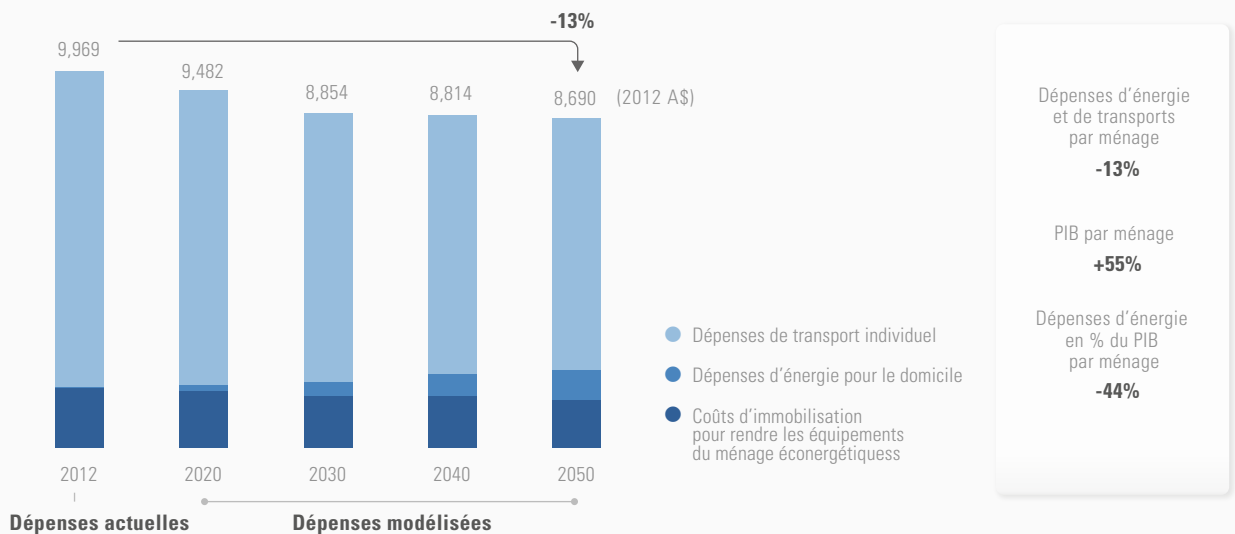
**Dans les pays en développement, la décarbonation profonde peut être accélérée par l'essor de marchés globaux pour les technologies bas carbone.** Dans leur cas en effet, la décarbonation profonde achoppe sur le rythme d'adoption des technologies efficaces bas carbone. À cause du coût relativement élevé en termes d'investissement de la plupart de ces technologies, les trajectoires DDP des pays en développement tablent en général sur une adoption plus tardive et des taux de pénétration plus faibles que dans les pays industrialisés. En attendant, ils construisent des infrastructures durables condamnées à consommer des combustibles fossiles. Une solution pour réduire les émissions cumulées des pays en développement consiste à s'assurer que les pays à revenu élevé prennent l'initiative de concevoir des technologies bas carbone, de les déployer et d'en réduire le coût pour les rendre plus vite accessibles dans les pays en développement à un coût inférieur à celui des technologies conventionnelles. Là où les marchés initiaux pour ces technologies se trouvent dans les pays en développement (comme la technologie solaire à concentration en Afrique du Sud), les pays à revenu élevé peuvent en soutenir la conception et la fabrication locales. Cela peut permettre d'accélérer la généralisation de ces technologies, de stimuler le développement économique, de doper les

**Figure 6. Coût net du système énergétique aux États-Unis**



**Figure 7. Dépenses moyennes par ménage pour l'énergie et le transport individuel dans la trajectoire DDP de l'Australie, 2012-2050**

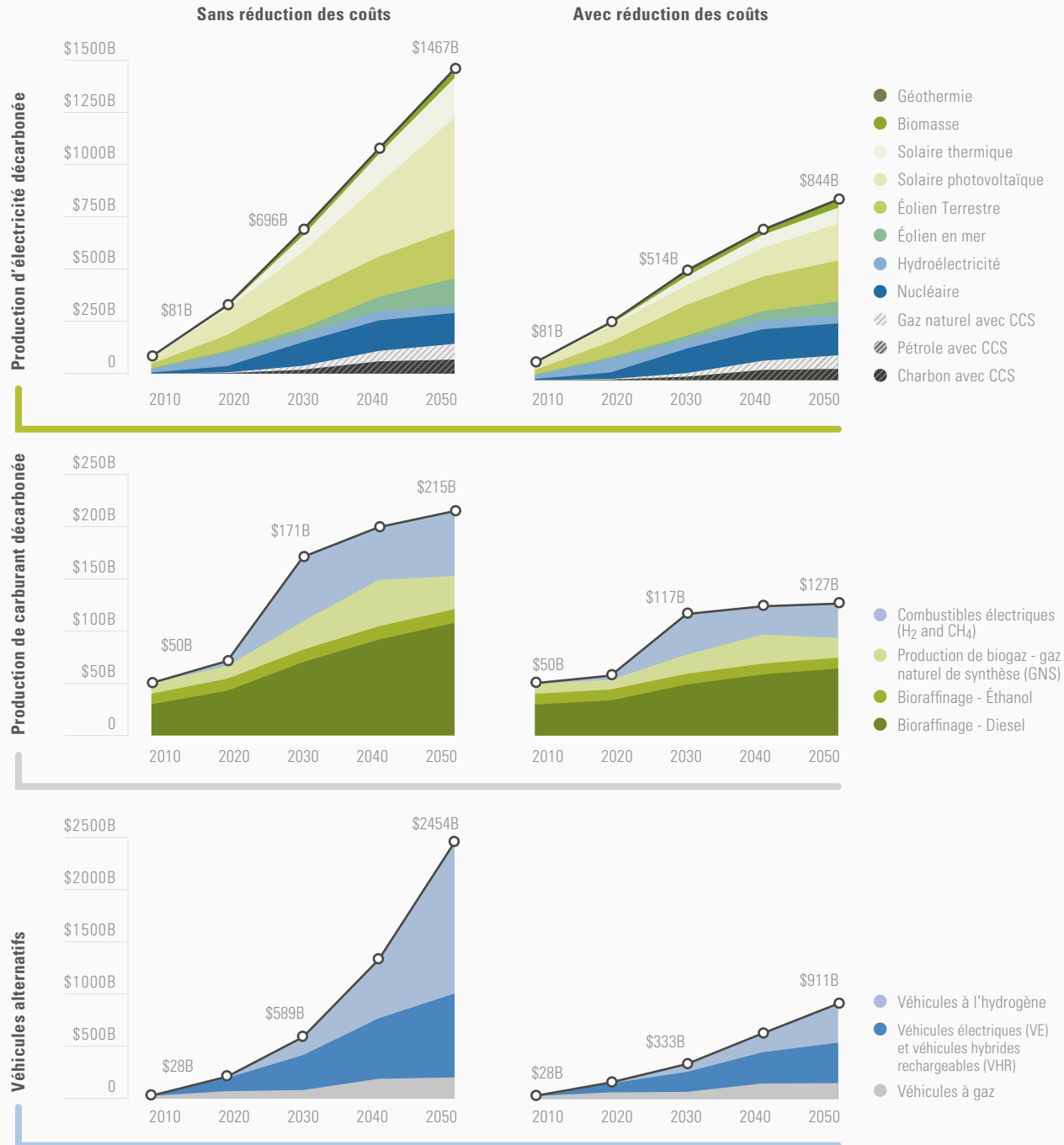
(en dollars australiens de 2012e)



**Figure 8. Besoins annuels d'investissement avec et sans apprentissage technologique**

(colonne de gauche, de haut en bas) Besoins annuels d'investissement pour produire de l'énergie et des carburants décarbonés ainsi que des véhicules alternatifs sans apprentissage technologique.

(colonne de droite, de haut en bas) Besoins annuels d'investissement pour les mêmes technologies associés aux réductions de coûts liées à la prise en compte de l'apprentissage technologique.



marchés et de promouvoir des échanges internationaux de technologies bas carbone tout en évitant un scénario où les pays en développement deviennent importateurs nets de ces technologies.

**La disposition manifeste de la communauté internationale à coopérer pour opérer une décarbonation profonde permet de tabler sur une expansion rapide des marchés et une baisse sans doute considérable du prix de nombreuses technologies bas carbone.** L'histoire a prouvé que le prix des technologies tend à diminuer en fonction de la production cumulée, à mesure que les technologies deviennent matures, permettent de réaliser des économies d'échelle et gagnent en efficacité en termes de méthodes de production. Si l'on applique ce principe de l'apprentissage aux technologies bas carbone permettant de produire de l'électricité et des

carburants et de développer les transports, le coût attendu de ces technologies diminue considérablement à l'échelle de production requise par la trajectoire DDP des pays par rapport au coût à supporter en l'absence de cet apprentissage (Figure 8). Ces économies montrent dans quelle mesure la coopération internationale pour développer des marchés de technologies bas carbone peut réduire les coûts pour tous les pays, à l'inverse d'une approche isolée, tout en créant des marchés importants pour les fournisseurs de technologies et en offrant de fortes incitations à innover davantage. Pour concrétiser les baisses de prix attendues dans les trajectoires de décarbonation profonde, il est donc impératif de mobiliser des investissements dans le développement et le déploiement massif des technologies bas carbone – de la recherche-développement à la commercialisation en passant par les déploiements à titre pionnier.

## 5 Pourquoi les trajectoires de décarbonation profonde sont-elles essentielles pour les politiques climatiques ?

**Les trajectoires DDP sont indispensables pour pousser les pays à afficher des cibles plus ambitieuses de réduction des GES dans le cadre de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC).** En préparation de la COP21, chaque pays soumet sa contribution prévue déterminée au niveau national (CPDN, *INDCs* en anglais), qui comprend les engagements nationaux de réduction des émissions à moyen terme (horizon 2025 ou 2030). Par la vision globale de la transformation requise à long terme qu'elles décrivent, les trajectoires DDP offrent un cadre unique de compréhension et d'analyse des contributions nationales et des mesures supplémentaires que la décarbonation profonde suppose. Si les trajectoires DDP sont surtout des feuilles de

route détaillant des options et des conditions favorables de mise en œuvre, elles peuvent néanmoins jouer un rôle critique pour rendre les futurs engagements nationaux plus ambitieux et proposer des points de repère à longue échéance afin de mesurer les progrès immédiats.

**Les trajectoires DDP sont indispensables pour respecter les budgets carbone et éviter de s'engager dans des impasses.** Même si l'échéance de 2050 peut sembler lointaine, la durée de vie opérationnelle des infrastructures et des équipements responsables des émissions de CO<sub>2</sub> – centrales, bâtiments, chaudières industrielles, véhicules utilitaires lourds – est longue par rapport au temps qui reste entre aujourd'hui et la

moitié du XXI<sup>e</sup> siècle (Figure 9). Les trajectoires DDP étayent les politiques et les décisions d'investissement actuelles en rendant explicites les conséquences de ces décisions sur le plan des émissions de long terme. Elles peuvent éviter de s'enfermer dans des investissements « sans issue » qui produisent à court terme une réduction progressive des émissions, mais ne sont pas compatibles avec la décarbonation profonde sur le long terme, ce qui soulève le risque d'un vieillissement précoce des équipements ou du non-respect des objectifs d'émissions.

**Les trajectoires DDP sont indispensables pour coordonner les politiques et les investissements des différentes juridictions**, mais aussi entre secteurs et échelons de gouvernement. En permettant de comprendre concrètement et en toute transparence ce qu'implique une transition bas carbone – ampleur et séquençage chronologique des changements d'infrastructure, options technologiques, besoins d'investissements et de R&D, et potentiel commercial sur les marchés –, les trajectoires DDP et les choix politiques informés qui en découlent permettent d'aligner les intérêts et les attentes du secteur public et du secteur privé. Dans la mesure où des pans entiers du système énergé-

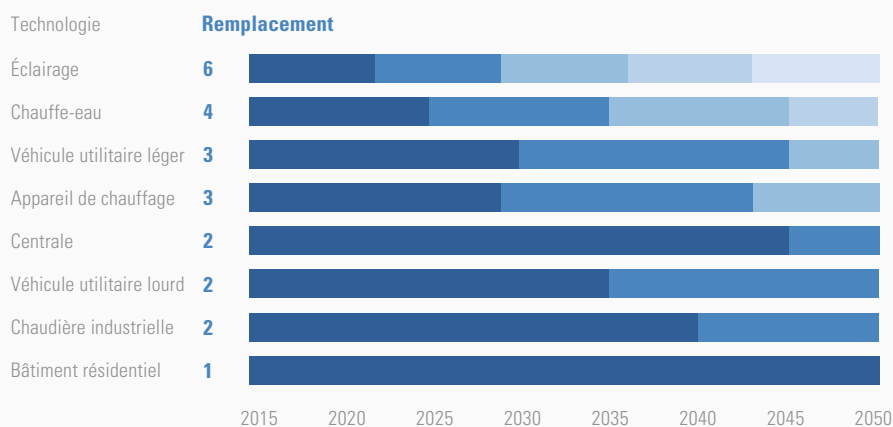
tique sont, dans de nombreux pays, sous le contrôle d'acteurs privés ou infranationaux, les trajectoires DDP peuvent offrir un cadre de coordination des politiques et des investissements entre secteurs, juridictions et échelons juridictionnels (fédération, provinces, collectivités locales, etc.).

**Les trajectoires DDP sont indispensables pour aider le secteur privé à opérer des arbitrages.**

Les trajectoires DDP aideront les entrepreneurs et les investisseurs à comprendre les implications de la décarbonation profonde pour leur activité et leurs opérations, en leur permettant d'identifier les créneaux porteurs, de concevoir des stratégies d'investissement et technologiques et de planifier en toute sérénité la transition vers une économie bas carbone. Elles peuvent servir de cadre aux discussions entre parties prenantes autour de propositions politiques et contribuer à identifier les domaines où créer des partenariats public-privé.

**Les trajectoires sont indispensables pour informer les feuilles de route portant sur les choix technologiques de long terme.** Le rapport insiste sur la nécessité d'accélérer le développement et la diffusion des technologies bas carbone. Pour réussir

**Figure 9. Durées de vie normales et possibilités de remplacement de certains équipements et infrastructures importants d'approvisionnement et de consommation énergétiques**





cette transition, il faudra créer des partenariats public-privé dans le domaine de la recherche, du développement, de la démonstration et du déploiement (RDD-D) organisés en fonction des feuilles de route établies pour les choix technologiques de long terme. Les trajectoires DDP offrent un cadre pour aligner ces feuilles de route et ces partenariats sur les objectifs de décarbonation profonde.

**Les trajectoires DDP fournissent un cadre pour comprendre la compatibilité de la décarbonation profonde avec d'autres priorités de développement durable.** Le fait d'avoir dans les trajectoires DDP un point de référence public peut aider les pays à s'assurer que les mesures de transformation énergétique et autres aspects de la décarbonation (comme l'affectation des terres) viennent aussi étayer d'autres objectifs de long terme comme l'accès à l'énergie, les offres d'emploi, la protection de l'environnement et la santé publique.

**Les trajectoires DDP clarifient les conditions propices qui permettront aux pays en développement d'intégrer la décarbonation profonde dans leurs stratégies de développement,** y compris les formes d'aide à solliciter auprès de la communauté internationale. Certaines conséquences possibles d'une stratégie de décarbonation profonde (comme la perte de recettes tirées de l'exploitation des combustibles fossiles) compliquent la donne économique pour les pays en développement. Les trajectoires DDP sont un véhicule indispensable pour comprendre comment la coopération internationale peut atténuer ces difficultés et favoriser un développement bas carbone.

**Les trajectoires DDP renforceront la confiance envers la gouvernance internationale entourant les politiques climatiques.** Les trajectoires DDP constituent une approche transparente pour comprendre les enjeux politiques à long terme, les besoins en technologies et les structures de coût de la décarbonation profonde dans différents pays.

Elles peuvent ainsi contribuer à modifier la teneur du discours international sur le climat et mettre davantage l'accent sur la recherche d'opportunités et la résolution collective des problèmes. Contrairement à une approche opaque, les trajectoires DDP se fondent sur des données et des analyses transparentes et crédibles qui permettent aux autres pays de comprendre sans ambiguïté les aspirations nationales à long terme et les hypothèses qui les sous-tendent. Une approche ouverte de ce type peut nourrir la confiance – y compris dans la crédibilité des INDC – et aider à identifier des domaines de coopération politique, de RD&D conjointe, de développement des marchés et d'assistance mutuelle.

**Le projet DDPP démontre par lui-même l'intérêt de trajectoires transparentes** sur le long terme. Lorsque le projet a démarré, fin 2013, la plupart des pays DDPP n'avaient jamais conçu de trajectoires compatibles avec la limite des 2 °C ou ne réfléchissaient pas activement à cette question. Les premiers résultats obtenus ont modifié cet état d'esprit, en prouvant que l'on pouvait prendre des mesures cohérentes avec cette cible et que plusieurs feuilles de route étaient possibles dans chaque pays pour y parvenir. Plus la compréhension de l'intérêt de cette approche augmente, plus les pays organisent de débats nationaux sur la décarbonation profonde. Les trajectoires de long terme sont de plus en plus considérées par les chercheurs et les décideurs comme un cadre permettant de résoudre des problèmes collectifs qui s'accumulent, et que l'on peut soumettre aux principales parties prenantes pour discussion, mais aussi réviser et améliorer dans le temps. Comme le montre l'expérience du projet DDPP, cette approche peut déboucher sur une vision commune des contraintes imposées par cette limite des 2 °C, des problèmes qui surgiront et des options envisageables pour les résoudre, y compris la coopération internationale. Le projet DDPP a institué un environnement collégial pour l'apprentissage entre pays et au sein des pays et le partage de méthodes, données et informations innovantes.

## 6 Éléments nouveaux et prochaines étapes

### Quelles informations nouvelles apportent les travaux récents du projet DDPP ?

Le rapport de synthèse 2015 approfondit et élargit l'analyse présentée dans le rapport 2014, en s'appuyant sur les derniers travaux des équipes de recherche pays. Et les 16 équipes produisent des rapports indépendants sur la décarbonation profonde dans leur pays. Ces rapports intègrent de nouvelles trajectoires qui confortent la solidité de l'analyse en démontrant les multiples options techniques possibles pour parvenir à une décarbonation profonde. La plupart des nouvelles trajectoires permettent d'atteindre des réductions d'émissions plus importantes que celles publiées en 2014 et toutes décrivent en détail comment la décarbonation profonde peut être compatible avec les objectifs de développement de chaque pays. Pour les pays en développement, le rapport clarifie les conditions favorables à réunir, y compris l'indispensable soutien de la communauté internationale, qui leur permettra d'intégrer pleinement la décarbonation profonde dans leurs stratégies de développement. Le rapport de synthèse 2015 résume les conclusions des rapports pays et propose de nouvelles analyses transversales, à l'instar des travaux liés aux émissions globales annuelles et cumulées et leur relation avec la limite des 2 °C et aux besoins globaux d'investissement ainsi que leurs conséquences pour les marchés mondiaux et la réduction des coûts.

### Quelles seront les prochaines étapes du projet DDPP ?

À terme, le projet DDPP cherche à étoffer son réseau, approfondir l'analyse des trajectoires DDP déjà définies et fournir de nouveaux instruments accessibles à tous pour favoriser la participation et le dialogue sur la décarbonation profonde.

- Le projet DDPP a déjà engagé des discussions avec des équipes de recherche d'autres pays qui souhaitent le rejoindre et invite d'autres équipes pays à se faire connaître. Il a pour ambition d'aider à élaborer des trajectoires DDP

pour tous les pays intéressés. À cet effet, un outil de modélisation de trajectoire libre d'accès et sous licence libre, utilisable par tous, gouvernement, autorités infranationales, ONG ou entreprises, est développé par le projet DDPP.

- La priorité pour étendre la couverture pays va aux pays à faible revenu où, dans les prochaines décennies, l'essentiel de la croissance économique et démographique mondiale devrait avoir lieu. Une meilleure compréhension du potentiel offert par la décarbonation profonde et des conditions propices de mise en œuvre dans ces pays est vitale pour définir les mesures à prendre afin de ne pas dépasser la limite des 2 °C.
- La prochaine étape de l'analyse développée par le projet DDPP portera sur l'identification d'options permettant de réduire les trajectoires d'émissions cumulées et consistera en une réflexion approfondie de la manière dont la coopération internationale autour des technologies bas carbone peut accélérer la transition dans les pays industrialisés et dans les pays en développement.
- Le projet DDPP soutiendra les discussions nationales – impliquant les gouvernements, les entreprises et la société civile – autour des stratégies de décarbonation profonde, notamment la façon dont les différentes trajectoires adaptées peuvent s'intégrer dans les priorités nationales et comment communiquer et améliorer ces stratégies.
- En appui aux discussions au sein des pays et entre pays, le projet DDPP a développé un portail Internet ([deepdecarbonization.org](http://deepdecarbonization.org)) pour présenter et permettre l'analyse de scénarios de décarbonation établis à partir de multiples sources et d'exercices analytiques (qui ne se limitent pas au projet DDPP), afin d'offrir une plateforme de communication et de comparaison des différentes approches de la transition bas carbone.



**PARTENAIRES DE RECHERCHE PAYS.** **Afrique du Sud** : Energy Research Center, University of Cape Town. **Allemagne** : Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. **Australie** : ClimateWorks Australia ; Australian National University. **Brésil** : Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE at Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. **Canada** : Carbon Management Canada ; Navius Research Inc. **Chine** : Institute of Energy, Environment and Economy, Tsinghua University ; National Center for Climate Change Strategy and International Cooperation (NCSC). **Corée du Sud** : KDI School of Public Policy and Management ; Korea Environment Institute ; Korea University College of Life Sciences and Biotechnology ; Korea Transport Institute. **États-Unis** : Energy+Environmental Economics (E3). **France** : UMR PACTE - EDDEN - Université de Grenoble ; UMR Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (CIRED). **Inde** : Indian Institute of Management of Ahmedabad (IIMA) ; Faculty of Planning, CEPT University, Ahmedabad ; UNEP Risoe Center (URC), Danemark. **Indonésie** : Bandung Institute of Technology ; Center for Climate Risk and Opportunity Management, Bogor Agricultural University. **Italie** : Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA) ; Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM). **Japon** : National Institute for Environmental Studies (NIES) ; Mizuho Information & Research Institute, Inc. (MHIR) ; Institute for Global Environmental Strategies (IGES). **Mexique** : Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). **Royaume-Uni** : Energy Institute, University College London. **Russie** : Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA) ; Higher School of Economics, National Research University, Moscou. **ORGANISATIONS PARTENAIRES DU DDPP.** **German Development Institute (GDI)** ; **Agence internationale de l'énergie (AIE)** ; **International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)** ; **World Business Council on Sustainable Development (WBCSD)**.

IDDRI

