

Executive Summary

Getting to net zero requires major changes in the large-scale systems we use to meet societal needs, including the way we produce and distribute energy, move people and goods, produce and consume food, and build and live within our cities. This report is intended as a decision-support tool and reference document for those tasked with figuring out how to do this. It provides an assessment of different pathways to net zero for eight critical sectors and systems in Canada. The Transition Accelerator will be adding to this work over time, and will update the report periodically.

Given the growing array of suggested greenhouse gas reduction approaches and technologies, it can be challenging for both policy makers and investors alike to decide the most effective course of action. Determining the way forward requires answers to fundamental questions such as: Which approaches represent genuinely viable pathways to net zero greenhouse gas (GHG) emissions and are ready for widescale deployment? Which show promise but require further research, incubating and piloting? And, perhaps most importantly, which are dead-end pathways that may result in short-term incremental GHG reductions but are incompatible with the scale of decarbonization required to achieve net zero emissions, and could lock-in carbon intensive infrastructure?

Putting a transition approach into practice means accelerating system or sector-level change to deliver net zero and other societal benefits, rather than just trying to secure the lowest cost incremental GHG reductions

In helping answer these questions, this report adopts a transition and an energy system approach. A transition approach examines opportunities to transform the large-scale societal systems or sectors which give rise to our emissions. This requires understanding how these systems operate, the stage of transition achieved in specific systems ('emergence,' 'diffusion' or 'system reconfiguration'), and the non-climate-related problems and disruptive currents influencing their evolution. As the latter are often more compelling to the relevant stakeholders than the threat of climate change, integrating low carbon initiatives with solutions to these broader challenges is critical to success. And, since changes large enough to achieve net zero are certain to alter sector norms and the social distribution of costs and benefits, engaging with wider system challenges is unavoidable regardless.

Putting a transition approach into practice means that policy design and investment should be focused on accelerating system or sector-level change - to deliver net zero and other societal

benefits - rather than just trying to secure the lowest cost incremental GHG reductions by a specified date. It also means accepting that there is no “one size fits all” solution, although economy wide approaches, notably carbon pricing, can act to encourage change. In most cases, policy needs to be tailored to system or sectoral level considerations and designed for the stage of transition at which it is at. This latter consideration is particularly important. The conventional wisdom amongst many policy-makers in Canada is that while governments have a role to play to support innovation, they should steer clear of ‘picking winners’ and allow the marketplace to determine the pace and scale of deployment. The transition and energy system approach adopted in this report suggests a different view. History shows governments cannot avoid taking decisions about large-scale technological options – without such commitments in the past we would not have built a national highway system and provincial electricity grids, nor developed nuclear power or the oilsands. To meet the net zero challenge, we need targeted support (R&D, experiments, and demonstration) for promising approaches, and deliberate policy and investment decisions to deploy at scale the solutions that have already emerged. Accelerating change in the systems and sectors where new technologies and practices are available can facilitate movement elsewhere by establishing the profitability of low-carbon investment, showing change is possible and inevitable, and weakening demand for end use fossil fuels.

While it is not possible to fully anticipate technological and economic developments decades in advance, critical elements of what is needed to achieve net zero are already clear.

A transition and energy systems approach also emphasizes the importance of conceptualizing what a viable net zero energy system could look like in the future. Then, by working backwards, it is possible to define the most promising pathways to get there. While it is not possible to fully anticipate technological and economic developments decades in advance, critical elements of what is needed to achieve net zero are already clear. These include:

- ▶ decarbonizing electricity generation and expanding electricity supply while electrifying as much of energy end-use as possible
- ▶ developing and deploying net zero fuels to replace fossil fuels in situations where electrification is difficult or expensive
- ▶ enhancing energy efficiency to reduce the new net zero energy needed to meet demand
- ▶ addressing non-energy emissions (waste, industrial processes, and agriculture), and
- ▶ testing and deploying carbon removal approaches to offset residual emissions.

This report assesses technologies and approaches that can contribute to building transformative pathways in eight critical sectors and systems: electricity; transport (cars, heavy trucks); buildings; heavy industry (oil and gas, mining, cement); and agri-food. It identifies critical areas where policy and investment can accelerate the diffusion and scale-up of specific technologies and practices. In sectors where solutions are not yet mature, it identifies areas for accelerating research, pilot projects, and large-scale experiments to prepare for future mass deployment.

For electricity this means accelerating full decarbonization of the sector (coal phase out, replacing unmitigated gas with renewables and other zero-emission options); improving system capacity to integrate and deliver affordable, resilient net zero electricity (regional interties, storage, grid improvements, demand management, etc.); and incrementally expanding generation to handle increased loads from the electrification of transport and other sectors. Priorities differ by province. Over the medium-term, electricity/hydrogen integration can enable a fully net zero energy supply.

For transport it means encouraging a rapid transition to electric (light and medium duty) vehicles and the build out of the zero-emission vehicle supply chain in Canada. The bulk of this shift could be achieved in 10-15 years, with huge economic consequences for Canada depending on whether the country becomes an international leader or a laggard. The encouragement of active mobility and the continued extension and upgrade of electrified mass transit systems are also important. Heavy freight requires the development, demonstration, and subsequent rollout of practical solutions (such as hydrogen fuel cell trucks and trains).

For buildings it implies measures to improve the performance of all new construction (i.e., strengthened performance-oriented building codes), as well as the systematic roll-out of programs to upgrade existing structures so the whole building stock can meet net zero standards. This includes large-scale retrofits tied to new financial models to attract private capital. For heating, electric options are already practical, and research, development, and pilots for hydrogen (and in some case renewable gas) need to be accelerated.

For heavy industry solutions vary by sub-sector, depending on the nature of their product, energy demand and process emissions. Defining trajectories for specific industries that dramatically curtail emissions (through fuel shifts, process improvements, output changes, etc.) is a first step. But then the technological innovations and business model adjustments must be carried forward in practice and at scale as solutions reach maturity.

For agriculture immediate efforts can be made to reduce emissions from nitrogen fertilizers, improve livestock management, and encourage soil carbon retention through farm practices. But transition in agri-food is at a relatively early phase, and there is a need for additional research, demonstration, practical experiments, and collaborative learning with the farm sector to map out broader transformative pathways.

The report also identifies cross cutting issues, three of which deserve mention. First, the importance of **energy efficiency** – which reduces the low carbon energy supply needed to decarbonize end use sectors (transport, buildings, industry, etc.). Second, **developing hydrogen as a net zero energy carrier** which can find application in multiple sectors, including as energy storage to facilitate deployment of intermittent renewables. And third, **negative emission approaches** where major questions remain regarding technical viability, permanence, scale, and cost. The immediate challenge here is to conduct research, development, and experimentation across multiple sectors, assessing performance, potential, and the circumstances under which these approaches are best deployed.

In policy terms, specific measures are required to accelerate change in each sector and subsector, with multiple instruments integrated into packages to achieve goals appropriate to the transition phase. These will include policies to develop and encourage the uptake of specific technologies, as well to mandate the phase out of fossil fuel dependent technologies and practices. There is also a need for economy-wide policies to encourage transition: carbon pricing at a scale to shift investment and consumer behaviour away from GHG intensive practices and products; low carbon public procurement to strengthen niches for emerging technologies; low carbon finance mechanisms to mobilize capital for transition; support for clean technology research, development, and deployment; and finally, social and policy innovation to accelerate the systems transitions getting underway.

Priorities for key sectors

POWER

9% OF CANADIAN EMISSIONS

DIFFUSION



Multiple low carbon generation options. Will assume transport and other loads as decarbonization progresses.

ACTIONS: Priorities differ by province: Phase out coal; integrate renewables and other net zero sources; Improve system capacity to deliver reliable, affordable net zero electricity (grid interties, storage, demand management)

BUILDINGS

13% OF CANADIAN EMISSIONS

EARLY DIFFUSION



Advanced building approaches and electric heating mature. 'Green gas' options immature. Systematic retrofit of existing structures is critical.

ACTIONS: More stringent codes for new builds; regulatory standards to drive improvement in existing buildings; public procurement to support sector transformation; pilot mass retrofit approaches; develop mechanisms to mobilize private capital for retrofits.

Priorities for key sectors (CONT'D)

CARS

13% OF CANADIAN EMISSIONS

EARLY DIFFUSION



Innovation stabilized around electric vehicles for personal cars and light trucks. Critical to break fossil energy dependence in transport.

ACTIONS: Accelerate EV adoption and build value chain for manufacture of zero emission vehicles. Invest in charging infrastructure. Zero emission vehicle standard. Fix phaseout goal for gasoline cars.

HEAVY TRUCKS

9% OF CANADIAN EMISSIONS

EMERGENCE



Heavy vehicle options require further development to enter market at scale.

ACTIONS: Vehicle development R&D, trials at scale, infrastructure investment, low carbon hydrogen production, zero emission vehicle mandate, public procurement, support for fleet conversions.

OIL & GAS

26% OF CANADIAN EMISSIONS

EMERGENCE



Approaches to net zero fossil fuel production and net zero energy production from fossil resources are immature. Traditional production wind down necessary for net zero.

ACTIONS: Dramatically improve energy efficiency and emissions profile of existing oil and gas extraction. R&D and infrastructure for zero emission fuels production (hydrogen or electricity), geothermal energy, and materials. Scale back all investment in the sector not geared to an ultra-low emission future.

CEMENT

1.5% OF CANADIAN EMISSIONS

EMERGENCE



No single pathway has emerged. Fossil energy can be replaced by electricity, hydrogen, or biofuels. Process emissions can be addressed by CCS or changing cement chemistries. Novel building materials could reduce cement demand.

ACTIONS: R&D and demonstration projects to address energy and process emissions. Changes to procurement and building codes to establish market for low carbon cement.

MINING

1% OF CANADIAN EMISSIONS

EMERGENCE



Electric and hydrogen fuel cell equipment; on-site renewable electricity generation; advances in processing technologies and efficiency; recycle metals and reduce use.

ACTIONS: Support for advanced ore movement and processing technologies. Electrification of operations. Develop low emission mining to service expanded material needs of net zero societies

AGRI-FOOD

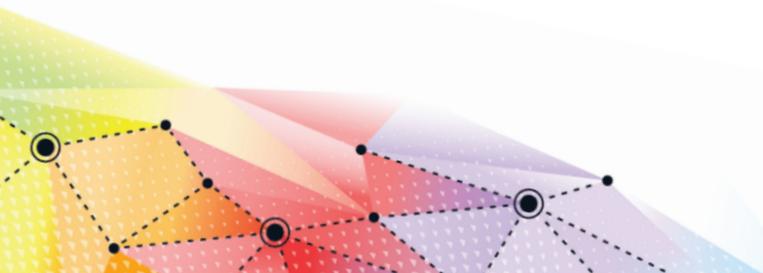
10% OF CANADIAN EMISSIONS

EMERGENCE



Approaches to address emissions from animal agriculture and nitrogen fertilizer use are in development. Sustainable farming and food system models remain immature in this diverse sector.

ACTIONS: Research, trials and promotion of alternative crop regimes and technologies to reduce nitrogen fertilizer use, improve manure management and reduce enteric emissions. Encourage production and consumption of alternative proteins. Decarbonize on farm energy use.



Résumé

Si notre objectif est d'atteindre la carboneutralité, il sera impératif d'apporter d'importants changements aux systèmes à grande échelle que nous utilisons pour répondre aux besoins de la société. Ces changements auront une incidence sur la production et la distribution de l'énergie, le transport des personnes et des biens, la production et la consommation des aliments ainsi que la façon dont nous construisons et habitons nos villes. Le présent rapport se veut un outil d'aide à la prise de décision ainsi qu'un document de référence pour les personnes qui auront la responsabilité de choisir la voie à suivre pour la réalisation de cet objectif. Il propose une évaluation de différentes trajectoires susceptibles de permettre à huit secteurs et systèmes de première importance au Canada d'atteindre la carboneutralité. L'Accélérateur de transition contribuera à ces travaux au fil du temps en mettant périodiquement le rapport à jour. Compte tenu du nombre croissant d'approches et de technologies susceptibles de permettre la réduction des gaz à effet de serre (GES), il pourrait s'avérer difficile pour les décideurs et les investisseurs de choisir la façon de procéder qui serait la plus efficace. Définir la voie à suivre exige de répondre à des questions fondamentales comme celles-ci : quelles approches constituent des trajectoires vraiment réalisables qui permettront d'atteindre la carboneutralité et qui sont prêtes pour une utilisation à grande échelle? Lesquelles sont prometteuses mais nécessitent des recherches plus poussées ainsi qu'une période de développement et d'expérimentation plus longue? Et, plus important peut-être encore, quelles sont les voies que l'on peut considérer comme étant « sans issues » parce qu'elles peuvent entraîner des réductions supplémentaires de GES à court terme, mais qu'elles sont incompatibles avec l'ampleur de la décarbonisation requise pour éliminer toute émission et qu'elles pourraient de surcroît constituer un obstacle à la transition des infrastructures à forte intensité de carbone?

Mettre en œuvre une approche fondée sur la transition consiste à accélérer les changements à l'échelle du système ou du secteur en vue d'atteindre la carboneutralité et bénéficier d'autres avantages sociétaux, une démarche qui va bien au-delà de la simple recherche de réductions supplémentaires de GES au moindre coût possible.

Pour aider à répondre à ces questions, le présent rapport a choisi une approche axée sur la transition et le système énergétique. Une telle approche étudie les possibilités de transformer les systèmes ou les secteurs sociétaux utilisés à grande échelle qui génèrent nos émissions. Pour ce faire, elle cherche à comprendre la façon dont ces systèmes fonctionnent, à déterminer le stade de transition atteint

par des systèmes spécifiques (« émergence », « diffusion » ou « reconfiguration du système »), et à déceler les problèmes et courants perturbateurs qui ne sont pas liés au climat mais qui influencent l'évolution de ces systèmes. Ces éléments perturbateurs constituent d'ailleurs souvent des arguments plus convaincants pour les parties prenantes concernées que la menace des changements climatiques. Il est donc essentiel, si l'on veut remporter un quelconque succès, d'intégrer des initiatives à faibles émissions de carbone dans les solutions apportées à ces plus grands défis. L'atteinte de la carboneutralité exigera des changements de grande envergure qui ne manqueront pas de modifier les normes du secteur concerné ainsi que la répartition sociale des coûts et des bénéfices, ce qui nous obligera inévitablement à relever des défis systémiques de plus grande ampleur.

S'il est impossible de complètement prévoir les développements technologiques et économiques qui surviendront au cours des prochaines décennies, nous connaissons déjà les éléments essentiels des mesures qui doivent être adoptées pour atteindre la carboneutralité.

Mettre en œuvre une approche fondée sur la transition consiste à concevoir des politiques et à faire des investissements qui visent à accélérer les changements à l'échelle du système ou du secteur, et ce, dans le but d'atteindre la carboneutralité et de bénéficier d'autres avantages sociétaux. C'est une démarche qui va bien au-delà de la simple obtention, à une date donnée, de réductions supplémentaires de GES au moindre coût possible. Cette approche implique également d'accepter qu'il n'existe pas de solution « universelle », même si certaines mesures appliquées à l'échelle de l'économie, telles que la tarification du carbone, peuvent contribuer à accélérer le processus de changement. Dans la plupart des cas, la politique doit être adaptée pour tenir compte de la situation particulière du système ou du secteur concerné, et être conçue pour correspondre au stade de transition que celui-ci a atteint. Cette dernière remarque revêt une importance particulière. En effet, tout en reconnaissant que les gouvernements ont un rôle à jouer pour soutenir l'innovation, de nombreux décideurs au Canada adhèrent au cliché selon lequel les gouvernements devraient s'abstenir de « choisir les gagnants » et permettre plutôt au marché de déterminer le rythme et l'ampleur de la mise en œuvre des nouvelles solutions. L'approche axée sur la transition et le système énergétique, qui a été privilégiée dans le présent rapport, propose un point de vue différent. L'histoire montre que les gouvernements sont dans l'obligation de prendre des décisions en ce qui concerne les possibilités technologiques utilisées à grande échelle; sans de tels engagements pris dans le passé, nous n'aurions pas construit un réseau routier national et des réseaux d'électricité provinciaux, ni développé l'énergie nucléaire ou exploité les sables bitumineux. Pour atteindre l'objectif de la carboneutralité, il est nécessaire d'apporter un soutien ciblé aux approches qui sont prometteuses (R et D, expérimentation et démonstration) et de prendre des

décisions en matière de politiques et d'investissements qui visent sciemment à promouvoir la mise en œuvre à grande échelle des solutions qui sont déjà connues. L'accélération des changements dans les systèmes et les secteurs où de nouvelles technologies et pratiques sont disponibles peut faciliter la transition ailleurs, et ce, de trois façons : en démontrant la rentabilité des investissements dans les solutions à faibles émissions de carbone, en montrant que le changement est non seulement possible mais qu'il est inévitable, et, enfin, en réduisant la consommation des combustibles fossiles à utilisation finale.

S'il est impossible de complètement prévoir les développements technologiques et économiques qui surviendront au cours des prochaines décennies, nous connaissons déjà les éléments essentiels des mesures qui doivent être adoptées pour atteindre la carboneutralité.

Une approche axée sur la transition et le système énergétique souligne également l'importance de concevoir la forme future que pourrait avoir un système énergétique qui soit à la fois carboneutre et réalisable. Ensuite, en procédant dans l'ordre inverse, on pourrait définir quelles trajectoires sont les plus prometteuses pour le concrétiser. S'il n'est pas possible de complètement prévoir les développements technologiques et économiques qui surviendront au cours des prochaines décennies, nous connaissons déjà les éléments essentiels des mesures qui doivent être adoptées pour atteindre la carboneutralité. Ceux-ci comprennent notamment :

- ▶ La décarbonisation de la production d'électricité, l'accroissement de l'approvisionnement en électricité et l'électrification la plus généralisée possible de la consommation finale d'énergie;
- ▶ Le développement et l'utilisation à grande échelle de combustibles sans émission pour remplacer les combustibles fossiles dans les situations où l'électrification est difficile et coûteuse à réaliser;
- ▶ L'amélioration de l'efficacité énergétique afin de réduire la quantité de nouvelle énergie sans émission nécessaire pour satisfaire à la demande énergétique;
- ▶ La lutte contre les émissions qui ne sont pas liées à l'énergie (déchets, procédés industriels et agriculture) et
- ▶ L'expérimentation et l'utilisation à grande échelle des approches permettant l'élimination du carbone dans le but de compenser les émissions résiduelles.

Le présent rapport évalue les technologies et les approches susceptibles de contribuer à la création de trajectoires de transformation pour huit secteurs et systèmes de première importance, soit ceux de l'électricité, des transports (voitures, camions lourds), des bâtiments, de l'industrie lourde (pétrole et gaz, mines, ciment) ainsi que de l'agroalimentaire. Il précise dans quels domaines essentiels les politiques et les investissements peuvent accélérer la diffusion et l'utilisation à plus grande échelle de technologies et de pratiques particulières. En ce qui a trait aux secteurs où le développement des solutions n'est pas terminé, il indique les domaines susceptibles d'accélérer la réalisation de recherches, de projets pilotes et d'expérimentations à grande échelle, dans le but de préparer la future mise en œuvre massive de ces solutions.

Pour le secteur de l'électricité, les mesures à mettre en application consisteront à accélérer la décarbonisation complète du secteur (élimination progressive du charbon, remplacement par des énergies renouvelables du gaz qui ne fait pas l'objet de mesures d'atténuation et adoption d'autres solutions sans émission); à améliorer la capacité du système à intégrer et fournir de l'électricité sans émission qui soit abordable et fiable (grâce aux interconnexions régionales, au stockage de l'électricité, à l'amélioration du réseau, à la gestion de la demande, etc.); et, enfin, à augmenter progressivement la production pour répondre à une demande accrue découlant de l'électrification des transports et d'autres secteurs. Les priorités diffèrent cependant d'une province à l'autre. À moyen terme, l'utilisation intégrée de l'électricité et de l'hydrogène rendra ainsi possible un approvisionnement énergétique sans aucune émission.

Pour le secteur des transports, il s'agira de promouvoir une transition rapide vers les véhicules électriques (de poids léger et moyen) et de soutenir la construction de la chaîne d'approvisionnement des véhicules sans émission au Canada. La majeure partie de ces changements pourrait être réalisée sur une période de 10 à 15 ans, et les conséquences économiques pour le Canada, qui seront énormes, varieront selon que le pays deviendra un chef de file au niveau international ou, au contraire, un retardataire dans le domaine. Il sera également très important d'encourager la mobilité active et de soutenir l'extension et la modernisation continues des systèmes électrifiés de transport en commun. La transformation du fret lourd exigera, quant à elle, le développement, la démonstration et l'utilisation ultérieure de solutions pratiques (telles que les camions et les trains à pile à hydrogène).

Pour le secteur du bâtiment, il sera nécessaire de mettre en œuvre des mesures visant à améliorer la performance de toutes les nouvelles constructions, c.-à-d. adopter des codes du bâtiment plus stricts et axés sur la performance. Il faudra également offrir de manière systématique des programmes de mise à niveau des structures existantes dans le but de permettre à l'ensemble du parc immobilier de respecter les normes en matière de carboneutralité. Cela comprendra des rénovations à grande échelle associées à de nouveaux modèles financiers permettant d'attirer des capitaux privés. En ce qui concerne le chauffage, les options électriques sont déjà disponibles; pour l'hydrogène (et dans certains cas le gaz renouvelable), il sera nécessaire d'accélérer la recherche, le développement et la réalisation de projets pilotes.

Pour l'industrie lourde, les solutions varieront selon le sous-secteur, en fonction de la nature du produit, de la demande d'énergie et de la quantité d'émissions générée par le procédé utilisé. La première étape consistera à définir, pour des industries particulières, des trajectoires permettant de réduire considérablement leurs émissions (grâce au passage à un autre type de carburant, à l'amélioration des procédés utilisés, à la modification de la production, etc.). Il faudra ensuite ajuster le modèle d'entreprise et poursuivre les innovations technologiques, en pratique et à grande échelle, à mesure que les solutions technologiques arriveront à maturité.

Pour l'agriculture, il est possible d'adopter des mesures immédiates permettant de réduire les émissions provenant des engrais azotés, d'améliorer la gestion du bétail et de favoriser la rétention du carbone dans les sols à l'aide de pratiques agricoles adaptées. La transition dans le

secteur agroalimentaire n'en est cependant qu'à une phase relativement précoce; pour tracer des trajectoires de transformation plus générales, il sera donc nécessaire d'effectuer des recherches, des démonstrations et des expériences pratiques supplémentaires, en veillant à créer des occasions d'apprentissage collaboratif avec le secteur agricole.

Le rapport définit également différentes problématiques transversales, dont trois méritent une mention. La première concerne l'importance de **l'efficacité énergétique** qui permet de réduire la quantité d'énergie à faibles émissions de carbone nécessaire pour décarboner les secteurs d'utilisation finale (transports, bâtiments, industrie, etc.). La deuxième a trait au **développement de l'hydrogène en tant que vecteur énergétique sans émission**; ce combustible peut en effet trouver une application dans plusieurs secteurs et permettre, entre autres, de stocker l'énergie en vue de faciliter l'utilisation d'énergies renouvelables intermittentes. Enfin, la troisième problématique est liée aux **approches d'émissions négatives**, dont la mise en œuvre soulève d'importantes questions, notamment en ce qui concerne leur viabilité technique, leur permanence, leur coût et l'échelle à laquelle elles peuvent être utilisées. Dans ce contexte, le défi immédiat à relever consiste à mener des activités de recherche, de développement et d'expérimentation dans plusieurs secteurs, et à évaluer les performances et le potentiel de ces approches ainsi que les circonstances dans lesquelles elles pourraient s'avérer le plus utiles.

En ce qui concerne les politiques, il sera impérieux d'adopter des mesures spécifiques pour stimuler l'accélération des changements dans chaque secteur et sous-secteur. Pour ce faire, on constituera des ensembles de mesures, intégrant de multiples instruments, qui permettront d'atteindre des objectifs adaptés à la phase de transition à laquelle se trouve le secteur ou sous-secteur concerné. Ces mesures comprendront des politiques qui visent à développer et encourager l'adoption de technologies spécifiques, tout en imposant l'élimination progressive des technologies et pratiques qui dépendent des combustibles fossiles. Pour favoriser la transition, il sera également nécessaire de mettre en œuvre des politiques à l'échelle de l'économie dans son ensemble. Parmi celles-ci, mentionnons une tarification du carbone appliquée à une échelle qui incite les consommateurs et les investisseurs à changer leur comportement et à abandonner les pratiques et les produits à forte intensité de GES; des politiques d'approvisionnement public encourageant l'adoption des solutions à faibles émissions en vue de soutenir la niche commerciale des technologies émergentes; des mécanismes permettant de financer les solutions à faibles émissions afin de mobiliser les capitaux pour la transition; le soutien à la recherche, au développement et à l'utilisation à grande échelle des technologies propres; et, enfin, l'innovation sociale et politique afin d'accélérer les transitions de systèmes qui sont en cours de réalisation.