

N°8, juillet 2017

Bénéfices économiques potentiels du scénario d'innovation de la Troisième Révolution Industrielle: opportunités et limites

Par Rachida Hennani

LA FONDATION IDEA ASBL

IDEA est un laboratoire d'idées autonome, pluridisciplinaire et ouvert, créé à l'initiative de la Chambre de Commerce.

IDEA souhaite contribuer à l'amélioration de la qualité du débat socio-économique, d'une part, en l'alimentant par des analyses socio-économiques et, d'autre part, en proposant des pistes novatrices pour relever les défis sociaux-économiques majeurs du Grand-Duché de Luxembourg.

IDEA invite les lecteurs à discuter contradictoirement ses analyses, idées et propositions.

Le dernier chapitre de l'étude stratégique intitulé « Exploring the potential economic benefits of the Third Industrial Revolution innovation scenarios » offre une analyse générale des opportunités et des étapes à suivre pour converger vers une économie « plus robuste, résiliente et durable ». Dans ce document de travail, nous nous concentrons sur cette partie de l'étude TIR, afin de souligner les nombreuses **opportunités que le Grand-Duché gagnerait à intégrer dans sa stratégie économique** mais aussi pour en **clarifier certains aspects macroéconomiques**.

Nous montrons que les **bénéfices économiques potentiels restent à clarifier**, que **la vision TIR ne prend pas en compte la structure économique dans son ensemble**, qu'il subsiste nombre de **limites technologiques** déjà mises en évidence par des experts et que la question du **creusement des inégalités** est éludée.

Les mesures prises dans les différents domaines du scénario TIR s'apparentent beaucoup plus à des **best practices** pour converger vers une économie robuste.

En dépit de ces limites, il n'en reste pas moins que l'exercice dans sa globalité permet de réunir toute une palette d'individus qui mènent, au travers de conférences, de projets, de comités de suivi, une réflexion sur les opportunités et les défis à long terme, et qu'en ce sens, la stratégie TIR a permis **l'émergence d'une volonté commune de prendre part à la destinée du Grand-Duché**.

Introduction

L'étude stratégique de la Troisième Révolution Industrielle (TIR) pour le Grand-Duché de Luxembourg est une approche hybride inédite¹ visant à construire une économie et une société intelligentes à l'horizon 2050. Dans cet objectif, les groupes de travail ont mené des analyses ciblées sur 9 secteurs (énergie, mobilité, construction, alimentation, industrie, finance, économie intelligente, économie circulaire, prosommateurs et modèle social) qui s'appuient sur des études historiques, des projections, des scénarios ou encore des modélisations. Cet exercice permet ainsi de construire sur différents horizons temporels un processus d'action et d'évolution en plusieurs étapes.

Le chapitre « *Exploring the potential economic benefits of the Third Industrial Revolution innovation scenarios* » de l'étude stratégique (pp.420-455) offre une analyse générale, dans un exercice comparatif entre l'évolution économique à état inchangé (*business-as-usual*) et les effets du scénario d'innovation TIR, des opportunités et des étapes à suivre pour converger vers une économie plus robuste, résiliente et durable. Ce chapitre, a priori, conclusif est une évaluation macroéconomique des bénéfices potentiels induits par le scénario TIR qui définit un cadre d'évaluation permettant de comparer les deux scénarios (*business-as-usual* versus innovation TIR) sur la base d'un modèle visant à quantifier les bénéfices économiques.

Selon les propos du chapitre en question, le Grand-Duché est à la croisée des chemins : son économie est marquée par une croissance en perte de vitesse en comparaison historique² se traduisant dans les projections par une réduction de moitié par rapport à la période 1985-2010 de la croissance de la productivité globale des facteurs et par des taux d'investissements en déclin, préludes à un frein de la croissance économique future. Se posent alors deux questions importantes :

1- Est-ce que les mesures préconisées dans le cadre de la TIR seront suffisantes pour garantir une croissance économique durable et vigoureuse si la productivité et le taux de formation brute de capital fixe (FBCF) continuent de décroître ?

¹ Inédite à l'échelle d'un pays. Une expérience similaire a, par exemple, été menée pour la région Nord-Pas-de-Calais en France.

² Le groupe de travail compare ici les périodes 1985-2000 et 2001-2015 avec notamment sur la première période une croissance du rapport PIB/emploi de 2,6% par an, une progression solide de l'emploi et de la population et une croissance économique moyenne de 6% par an. Sur la deuxième période, les gains de productivité se sont aplatis, la croissance économique moyenne de 2,8% par an est attribuée à une croissance importante de la population et des emplois.

2- Quelle combinaison d'efforts ciblés et d'investissements productifs, publics et privés, pourraient assurer le développement d'une économie plus robuste ?

Tout au long de cette synthèse, les auteurs raisonnent autour d'un facteur de production essentiel : l'énergie (qu'ils considèrent comme le moteur le plus important). Une utilisation efficace de ce facteur et une consommation optimale garantissent au Luxembourg une robustesse et une résilience économique. En dépit d'un classement mondial favorable en termes d'efficacité énergétique³, les auteurs estiment que le Luxembourg « gaspillerait » plus de 80% de ses ressources énergétiques de haute qualité⁴. Par ailleurs, l'Agence Internationale de l'énergie estime que le Luxembourg peut convertir moins de 20% de l'énergie disponible en travail utile. Ces divers éléments invitent à repenser les modes de consommations énergétiques à l'aune des bénéfices potentiels issus de l'utilisation de technologies énergétiques efficaces et d'investissements productifs en systèmes d'énergies renouvelables.

Dans ce travail, nous revenons en détail sur ce chapitre afin de souligner sur cette base les opportunités nombreuses que le Grand-Duché devrait intégrer dans sa stratégie économique. Nous mettons en exergue les limites macroéconomiques de cette étude à la lumière de la littérature économique. Dans cette perspective, nous présentons une analyse du cadre d'évaluation économique (1^{ère} partie) puis nous revenons sur l'exercice comparatif entre le scénario de référence et le scénario d'innovation TIR en analysant les impacts économiques du scénario d'innovation TIR (2^{ème} partie). Nous formulons enfin quelques remarques conclusives.

³ L'efficacité énergétique désigne la capacité à fournir un même travail utile pour une consommation d'énergie plus faible. On entend par travail utile un travail qui satisfait à un ensemble de besoins clairement décrits. L'efficacité énergétique se mesure comme le rapport entre le travail utile et l'énergie consommée. Pour améliorer l'efficacité énergétique, il faut donc consommer moins d'énergie pour fournir un même travail utile. Si des améliorations peuvent être apportées aux moyens de production utilisés de manière à diminuer la consommation d'énergie pour un travail utile identique, on parlera d'efficacité énergétique. Si les améliorations portent sur les comportements, on parlera d'efficacité énergétique. L'efficacité énergétique du Luxembourg est estimée à 20%, en tête du trio formé également par les Etats-Unis (14,4%) et de la moyenne des pays de l'OCDE (16,2%).

⁴ Les ressources énergétiques dites de haute qualité et plus communément désignées par les ingénieurs et les physiciens par le terme exergie sont une des 2 composantes de l'énergie. L'exergie, deuxième composante de l'énergie, représente la part inutile de l'énergie comme les pertes de chaleur d'un engin automobile. Autrement dit, l'exergie est la partie valorisable de l'énergie qui peut être convertie en travail utile.

1. Cadre de l'évaluation économique

Le crédo *innover ou mourir* régent la vision de ce chapitre qui vise principalement à mettre en évidence les opportunités futures par une analyse prospective et quantifiée des bénéfices potentiels d'un changement des schémas d'investissement des acteurs économiques en faveur d'une énergie plus propre et plus productive. Se posent alors plusieurs questions :

- Quels sont les bénéfices économiques induits par ces nouveaux schémas d'investissement ?
- Quel est le niveau des investissements nécessaires ?
- Comment ces investissements vont-ils se traduire en richesse et emplois supplémentaires ?

Les auteurs invitent à repenser les fondamentaux de l'économie luxembourgeoise pour redonner de la vigueur à l'activité économique future et l'inscrire dans la soutenabilité : cette refonte économique doit intégrer les défis environnementaux afin de garantir la viabilité de la croissance économique. Ainsi, l'étude stratégique est conçue à la fois comme l'esquisse d'un plan permettant de maintenir une économie saine, mais aussi comme une nouvelle plateforme garantissant une économie résiliente, c'est-à-dire résistante aux chocs, et durable à long terme.

Les nombreuses opportunités mises en évidence dans les chapitres thématiques peuvent conduire à une économie plus robuste et plus soutenable si elles sont intégrées dans une stratégie globale. Néanmoins, il reste difficile de quantifier dans l'immédiat la proportion de l'impact économique induit par ces différentes opportunités. Devant ces difficultés, les auteurs proposent 7 catalyseurs clés susceptibles de conduire à une économie plus performante⁵ (cf. tableau 1) :

-*Intensity shift* : l'idée sous-jacente à cet effet est une augmentation de l'intensité en main-d'œuvre dans la valeur ajoutée des différents secteurs de l'économie. Un investissement ou une activité menée dans le cadre de la TIR (qui suppose donc une réduction des coûts et de la consommation énergétique) conduit inéluctablement à une rupture entre les secteurs énergétiques intensifs en capital et les autres secteurs de l'économie plus intensifs en facteur travail. Ce raisonnement suppose un déplacement des unités de travail du secteur

⁵ Nous retenons ici les termes anglophones pour faciliter le renvoi à l'étude stratégique.

énergétique (qui, en raison des préconisations du scénario d'innovation de la TIR, va tendre à économiser les unités de travail utilisées) vers les autres secteurs de l'économie. Ce transfert « automatique » du facteur travail du secteur énergétique vers les autres secteurs de l'économie soulève toutefois deux limites :

- La première est la promotion sous-jacente des activités hautement intensives en facteur travail, à contre-courant des objectifs de croissance économique plus qualitative (davantage basée sur la croissance de la productivité).
- La réallocation du facteur travail issu du secteur énergétique vers les autres secteurs de l'économie pose des défis importants en termes de formation des travailleurs, de disponibilités pour ces travailleurs dans les autres secteurs et de la disparition quasi-complète de ressources humaines dans un secteur stratégique de l'économie.

-Supply Chain Build-up : il est question ici de développer une production régionale de biens et services pour limiter les importations⁶. Si l'initiative pourrait être saluée, elle reste très discutable quant à son efficacité macroéconomique. En effet, l'idée sous-jacente est le développement de la production locale d'électricité propre afin de limiter l'importation de ressources énergétiques. Par ailleurs, les auteurs illustrent un mécanisme selon lequel des améliorations de l'efficacité énergétique associées à la réduction des gaz à effet de serre conduiraient à une augmentation du PIB (cf. figure 2). Ces deux effets ont pour conséquence une efficacité macroéconomique, telle qu'elle est documentée par Domac et al.(2005). Ce raisonnement appelle 2 remarques générales :

- La première concerne le mécanisme macroéconomique selon lequel l'efficacité énergétique, l'utilisation des énergies renouvelables affecte le PIB. Dans l'étude stratégique, la modification des schémas de production et de consommation énergétiques va permettre de diminuer drastiquement les importations énergétiques et d'augmenter le PIB. Or, le mécanisme macroéconomique à l'œuvre est beaucoup plus complexe ainsi que l'illustrent Chien et Hu (2008)⁷ qui analysent dans quelle mesure la promotion de l'utilisation d'énergies renouvelables est susceptible d'améliorer le PIB. Leur analyse en panel (qui inclut le Luxembourg) montre qu'il existe

⁶ Il est tout de même utile de rappeler ici que la limitation des importations n'est pas une stratégie saine pour l'économie notamment luxembourgeoise, particulièrement ouverte sur l'extérieur. Voir à ce propos l'encadré 1, p.15 du bulletin économique de la Chambre de Commerce, Actualités et tendances n° 19, mai 2017.

⁷ Pour plus de détails, voir « *Renewable energy : an efficient mechanism to improve GDP* », 2008, Chien et Hu, Energy policy.

bien un impact de l'utilisation plus importante d'énergies propres sur l'efficacité énergétique, que la formation de capital (l'investissement) est impactée par l'utilisation d'énergies renouvelables mais que ces dernières n'ont aucune influence sur la balance commerciale (voir figure 1). Plus précisément, le développement d'énergies alternatives et notamment d'énergies renouvelables n'influencerait pas nécessairement à la baisse les importations d'énergies. Il est entendu que ces résultats varient en fonction des pays mais il semblerait que les importations ne souffriraient pas du développement d'énergies alternatives en cas d'augmentation de l'activité économique dont les besoins ne pourraient être complètement couverts par une production interne d'énergie. L'impact sur le niveau de PIB reste néanmoins positif.

- La deuxième remarque vise à souligner la nécessité de raisonner ici à niveau d'énergie constant : l'utilisation d'énergies renouvelables améliore l'efficacité énergétique (déjà élevée au Luxembourg comparé à d'autres économies avancées) mais il est important de ne pas augmenter la quantité totale d'énergie, de telle sorte à garantir un niveau élevé d'efficacité énergétique.

-Energy cost reduction : l'idée sous-jacente à cet effet suppose l'impact positif probable de ressources plus importantes et de l'efficacité énergétique sur les coûts unitaires énergétiques et non énergétiques.

-Productivity boost : la stratégie d'innovation TIR est susceptible de conduire à une augmentation de la productivité, résultante des effets déjà détaillés ci-dessus.

-Managing volatility - Minimising disruption : ces deux effets visent à anticiper la volatilité des prix énergétiques en minimisant les risques de disponibilité des ressources auprès des fournisseurs.

-Innovation plus : les scénarios TIR vont induire un apprentissage continu et il est attendu une recrudescence des innovations, que ce soient le développement et le déploiement de nouvelles technologies à usage général, ou les changements novateurs dans les modèles commerciaux qui peuvent satisfaire des besoins sociaux, économiques et environnementaux. Ces 5 derniers catalyseurs, dont les bénéfices économiques sont potentiellement surévalués, sont avancés par les auteurs comme résultant du scénario TIR. Or, certains de ces effets pourraient éventuellement se produire en l'absence même de la mise en œuvre de la stratégie TIR. Par exemple, la réduction des coûts énergétiques résultante de la conjugaison

d'une efficacité énergétique et de l'utilisation d'énergie propre pourrait tout aussi bien résulter des stratégies européenne 20-20-20 (20% de réduction des émissions des gaz à effets de serre par rapport à 1990, un niveau de 20% d'énergies renouvelables, et une amélioration de 20% de l'efficacité énergétique européenne)⁸ ou encore de la « Energy Roadmap 2050 »⁹. En outre ces stratégies trouvent déjà des échos au niveau luxembourgeois avec notamment le Klimabank (prêts à taux 0 pour la rénovation énergétique des bâtiments), la promotion de l'électromobilité et des transports en commun, les « régimes d'aides pour la promotion de l'utilisation rationnelle de l'énergie », l'introduction d'un mécanisme d'obligation¹⁰, l'accord volontaire FEDIL¹¹, etc... La pression européenne et les initiatives des acteurs économiques et politiques auraient pu conduire à une amélioration environnementale. Aussi, une analyse plus fine entre les impacts des stratégies mises en œuvre et des apports additionnels de la TIR est la bienvenue car il semble hasardeux d'attribuer d'office au scénario TIR l'ensemble des effets positifs susceptibles de se produire, même s'il convient d'apprécier à sa juste valeur l'apport potentiel de ce dernier processus.

Tableau 1: Les 7 catalyseurs pour une économie luxembourgeoise plus robuste

Effect	Primary Impact
Intensity Shift	Moving away from capital-intensive to labor-intensive activities
Supply Chain Build-up	Building up greater local production capacity and local services
Energy Cost Reduction	Both unit and total cost savings for efficiency and non-efficiency
Productivity Boost	Expanding non-energy benefits
Managing Volatility	Smoothing out the price shocks
Minimizing Disruption	Avoiding the inconvenient interruption of supply
Innovation Plus	Cost breakthroughs in the delivery of energy and other services

⁸ Ces objectifs ont été revus à la hausse avec notamment une réduction de 40% des émissions de gaz à effets de serre par rapport aux niveaux de 1990, un niveau de 27% des énergies renouvelables dans la consommation énergétique totale et une diminution de 27% de la consommation énergétique par rapport au scénario tendanciel grâce à des gains d'efficacité énergétique.

⁹ Le projet « Energy Roadmap 2050 » est une initiative de la Fondation Européenne pour le Climat, qui vise à définir les moyens d'actions pour converger vers les objectifs de l'Union Européenne en termes de réduction des gaz à effets de serre à l'horizon 2050, c'est-à-dire une réduction entre 80% et 95% des émissions de gaz à effet de serre par rapport au niveau de 1990.

¹⁰ Il s'agit d'un mécanisme, introduit par le gouvernement luxembourgeois, qui oblige les fournisseurs de gaz naturel et d'électricité à engendrer des économies d'énergie auprès des consommateurs.

¹¹ L'« Accord volontaire relatif à l'amélioration de l'efficacité énergétique dans l'industrie luxembourgeoise » conclut entre la FEDIL, le gouvernement et myenergy, réunit les entreprises qui s'engagent à atteindre l'objectif commun d'une amélioration moyenne de 1% par an de l'efficacité énergétique globale de l'ensemble des participants.

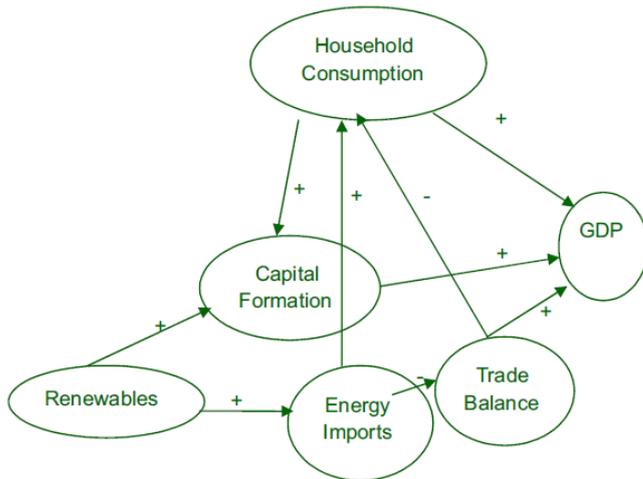
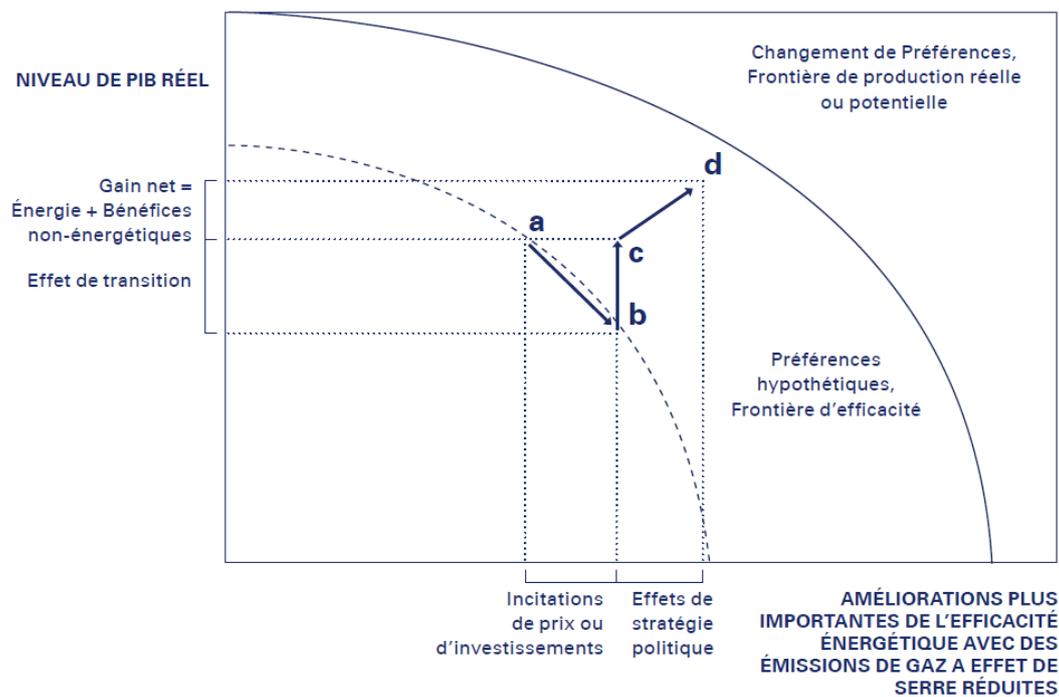


Figure 1: Résultats de l'analyse de Chien et Hu (2008)

FIGURE : CADRE CONCEPTUEL POUR ÉVALUER LE SCENARIO D'INNOVATION TIR



SOURCE : JOHN A. "SKIP" LAITNER (MAI 2016).

Figure 2: Cadre conceptuel d'évaluation du scénario TIR

La figure 2, extraite de l'étude stratégique (p. 429) et qui s'apparente à une courbe environnementale à la Kuznets¹², montre que la combinaison d'une amélioration de l'efficacité énergétique et d'une diminution des gaz à effets de serre conduirait à une augmentation du PIB réel par un double mécanisme :

-dans un premier temps, les incitations de prix ou d'investissement en faveur d'une production d'énergie efficiente ou d'une réduction des émissions de gaz à effets de serre conduiraient à un effet de transition se traduisant par une baisse du niveau de PIB

-dans un deuxième temps, des effets de stratégie politiques (des incitations et des initiatives politiques pour dégager des bénéfices énergétiques et non-énergétiques) permettraient un glissement de la frontière des préférences, se traduisant ainsi par une augmentation du niveau de PIB et par une réduction de l'ordre de 30% des besoins énergétiques par unité de PIB.

Les auteurs estiment que ces économies nettes d'énergies sont susceptibles d'augmenter la création d'emplois et le PIB.

Ce raisonnement appelle plusieurs questions, notamment au regard de la littérature économique autour du lien entre performance économique et environnement¹³. La relation entre la qualité environnementale et la performance économique est une relation en U inversé qui traduit la dégradation environnementale au début du développement économique d'un pays avant d'atteindre un point de rupture qui permet le passage vers une économie qui continue à s'enrichir et une dégradation environnementale décroissante. De manière similaire, la figure 2 traduit une corrélation positive entre efficacité énergétique et diminution des émissions de gaz à effets de serre avec la performance économique ou de manière corollaire, une corrélation négative entre la performance économique et la dégradation de l'environnement. Si des limites techniques à cette relation existent dans la littérature (cf. Uchiyama (2016)¹⁴), l'existence avérée de ce lien n'est pas établi pour le Luxembourg. En effet diverses études dont celle de Lopez-Menendez et al.(2014), montre qu'il existe bien un lien en U entre la performance économique et la dégradation

¹² La courbe environnementale de Kuznets est une analogie de la courbe de Kuznets (qui met en relation le PNB par tête et l'inégalité de revenu) qui permet d'analyser la relation entre la croissance économique et l'environnement.

¹³ Qui ne constitue pas ici le lien schématisé dans la figure 2 p.429 mais qui reste un raisonnement identique.

¹⁴ « Environmental Kuznets Curve Hypothesis and Carbon Dioxide Emissions », 2016, K. Uchiyama, Development Bank of Japan Research Series.

environnementale. Autrement dit, il reste délicat d'affirmer que l'amélioration environnementale aura des impacts significatifs sur le niveau du PIB d'où la nécessité de relativiser quelque peu les effets schématisés dans la figure 2. Une raison potentielle de cette absence de relation peut être liée à la particularité du Grand-Duché, caractérisé par un niveau de PIB par tête très élevé et par une politique environnementale perfectible. On ne peut dès lors pas affirmer que la combinaison de stratégies visant à améliorer l'efficacité énergétique et à diminuer les émissions de gaz à effets de serre aura nécessairement un impact significatif sur le niveau de PIB, même s'il ne faut pas négliger les effets qualitatifs de ces mesures.

Les bénéfices économiques annuels résultants de la stratégie TIR, et notamment d'une baisse des coûts énergétiques, ont été évalués par les auteurs à 420 millions d'euros. Parallèlement à ces économies, le Luxembourg devrait procéder à des dépenses en investissement importantes évaluées à 145 millions d'euros annuels. A ce montant, s'ajoutent des dépenses supplémentaires liées aux incitations et initiatives politiques (estimées à 25 millions d'euros annuels) qui donneront par la suite lieu à des bénéfices supplémentaires difficiles à évaluer. Au final, la facture énergétique du Luxembourg passerait de 2100 millions d'euros annuels à 1850 millions d'euros annuels. Ces économies sont nettes des effets potentiels sur la santé, sur l'environnement ou encore sur le changement climatique évalués par la Stanford University, dans un scénario basé sur 100% d'énergies renouvelables, à 7 milliards d'euros à l'horizon 2050.

Les barrières à l'efficacité énergétique ne sont pourtant pas envisagées dans cette analyse alors même qu'elles doivent être intégrées dans la stratégie TIR comme des éléments à part entière : ces barrières sont clairement identifiées par la littérature économique (cf. encadré 1) et certaines d'entre elles peuvent être identifiées comme des éléments contraignants pour le Luxembourg (manque de personnel qualifié, risques et incertitudes, prix faible des énergies fossiles...).

Il faut ici saluer l'initiative de la stratégie TIR qui, grâce à une palette d'opportunités suggérées dans les différents domaines, permet d'envisager l'émergence d'une économie plus robuste, et plus soutenable. Ce « tableau idyllique » ne doit cependant pas masquer les difficultés importantes auxquelles le Grand-Duché risque d'être confronté : le développement des différentes stratégies nécessitera le recrutement de personnes hautement compétentes dans un contexte où le Luxembourg rencontre déjà des difficultés à trouver des profils très

spécifiques, la mise en place des plateformes technologiques telles que l'Internet des Objets nécessitera une formation nationale afin que la stratégie TIR soit profitable à tous et qu'il n'y ait pas de fracture sociale.

Encadré 1 : Les barrières à l'efficacité énergétique

Selon la définition de Sorrell et al.(2004)¹⁵, les barrières représentent tous les facteurs qui handicapent l'adoption de technologies rentables énergétiquement efficaces ou ralentissent leur diffusion. Fleiter et al.(2011) détaillent dans une revue de littérature¹⁶ les barrières à l'utilisation de technologies d'efficacité énergétique, dont la prise en compte dans les modèles de demande énergétique, gage d'une modélisation réaliste et détaillée des politiques d'efficacité énergétique. Empiriquement, nombre d'études montrent qu'il existe des barrières à l'adoption de technologies énergétiques efficaces : DeCanio (1998) montre, sur la base des projets de l'US Green Light Program, que des barrières organisationnelles et institutionnelles influencent fortement les décisions d'investissement des entreprises et les empêchent de réaliser des économies énergétiques. De la même manière, Anderson (2004), sur la base des données de l'US Department of Energy's Industrial Assessment Center program, montre que la barrière financière ne peut expliquer à elle seule la faiblesse des investissements en efficacité énergétique. La littérature économique propose diverses classifications des barrières :

-Barrières relatives aux marchés versus les barrières comportementales et organisationnelles : les premières comprennent les asymétries d'information et les dilemmes principal/agent tandis que les secondes ont trait aux risques et incertitudes qui conditionnent le comportement des firmes.

-Le panel intergouvernemental sur le changement climatique (IPCC) classe les barrières selon qu'elles véhiculent un manque d'information, une disponibilité limitée du capital, un manque de personnel qualifié, ou tout autre élément venant contraindre l'accès et l'adoption aux technologies d'efficacité énergétique.

-Sorrell et al.(2004) différencie les barrières selon qu'elles incarnent un manque d'informations, des coûts cachés, du risque et de l'incertitude, des incitations divisées, l'accès au capital ou la rationalité bornée. Les incitations divisées s'entendent ici comme des incitations qui proviendraient de manière désordonnée de différents acteurs du marché.

¹⁵ The economics of energy efficiency, (2004), Sorrell S., O'Malley E., Schleich J., Scott S.

¹⁶ « Barriers to energy efficiency in industrial bottom-up energy demand models-A review » (2011), Fleiter T., Worrell E., Eichhammer W., Renewable and Sustainable Energy Review, vol.15.

En dépit de ces barrières, il faut souligner que les coûts des énergies renouvelables ont très fortement diminué et que les investissements dans les énergies renouvelables progressent.

2. Comparaison et évaluation des scénarios

L'exercice comparatif entre un scénario *business-as-usual* et le scénario d'innovation TIR est intéressant à plusieurs égards car il est un outil à la fois prospectif mais aussi de suivi des modifications et des résultats qui permet aussi de saisir l'utilité ou non des démarches entreprises. Sur la base des projections du scénario de référence (cf. tableau 2), les auteurs s'efforcent d'évaluer le niveau d'amélioration d'efficacité énergétique possible, la quantité de la demande énergétique substituable par les énergies renouvelables et le coût final de ces changements. Il est important de relever ici que les projections du scénario de référence sont établies à politiques constantes, faisant fi des potentielles améliorations induites par des initiatives nationales ou des objectifs européens existants. Aussi, il est prudent de relativiser les gains potentiels du scénario TIR par rapport au scénario de référence : rappelons que la vision TIR anticipe des répercussions positives importantes sur l'ensemble des secteurs économiques.

L'évaluation des investissements nécessaires à la réalisation de la TIR menée, dans un cadre expérimental, par l'institut Fraunhofer pour les systèmes d'énergie solaire, permet de dresser une estimation approximative. Le scénario TIR ambitionne une réduction de la demande énergétique de l'ordre de 33% environ, avec 70% de l'énergie produite localement et 30% importée¹⁷, d'où un coût final évalué à 20,6 milliards d'euros. Plus précisément, la diminution de la demande énergétique par une amélioration de l'efficacité énergétique est estimée à un peu plus de 5 milliards et la mise en place d'énergies renouvelables est évaluée à plus de 15 milliards, coûts de gestion inclus. Les économies attendues dans le scénario TIR ne proviennent pas directement des coûts énergétiques unitaires (qui apparaissent plus élevés que dans le scénario TIR) mais des investissements générés par une économie plus efficace énergétiquement.

¹⁷ La possibilité d'une consommation 100% local a été envisagée mais apparaît moins rentable.

Parallèlement à ces économies potentielles, le scénario TIR ambitionne le remplacement total des énergies émettrices de carbone à l'horizon 2050 par des énergies renouvelables. Les auteurs proposent une évaluation plus précise des investissements annuels en énergie. Le montant annuel devrait augmenter rapidement jusqu'à 2030 (97 millions en 2017, 221 millions en 2020 et 500 millions en 2030) avant de décroître (432 millions en 2040 et 377 millions en 2060). Le coût final est réévalué à la baisse (14 milliards contre 20.6 milliards) en raison d'une hypothèse de décroissance des coûts relatifs à l'utilisation des énergies renouvelables. Néanmoins, l'absence d'évaluation précise des investissements supplémentaires¹⁸ en infrastructures notamment, conduit les auteurs à relever le montant des coûts associés aux investissements à un niveau de 46 milliards.

Le scénario TIR, actant en 2050 le passage d'une facture énergétique de 2.190 millions d'euros à 1.369 million d'euros, permet une économie de 820 millions d'euros diminuée de 336 millions d'euros (coûts des politiques et des programmes d'efficacité énergétique) à laquelle les auteurs adjoignent une réduction du coût des externalités (déterminés par la Stanford University) et des gains de productivité lié à l'Internet des Objets. Ces derniers restent difficilement mesurables en raison de l'absence de données d'impact spécifique permettant d'évaluer les retombées économiques.

Ces efforts devraient permettre d'améliorer l'efficacité énergétique du Luxembourg, qui occupe déjà la première place. Le scénario TIR envisage une amélioration du taux d'efficacité énergétique de l'ordre de 4% par an. La comparaison des bénéfices entre le scénario *business-as-usual* (sur la base de projections institutionnelles notamment du STATEC et de la Commission Européenne) et le scénario TIR (évalués par le modèle DEEPER- cf. encadré 2) fait ressortir les éléments suivants :

-la croissance de la productivité (mesurée ici par le rapport PIB/emploi) projetée dans le scénario *business-as-usual* est inférieure à la moitié de celle observée sur la période 1985-2010 (0,58%/ an en moyenne entre 2010-2020 contre 1,4%). Elle croît légèrement à 1,28% sur la période 2020-2050. Dans le scénario TIR, les montants élevés des économies attendues devraient stimuler le PIB par emploi et créer des emplois supplémentaires. Ces derniers sont estimés à 23400 emplois annuels sur la période 2016-2050 dont la majeure partie

¹⁸ Ces investissements supplémentaires comprennent la modernisation des infrastructures et des équipements.

proviendrait des infrastructures liées à la TIR (+13800 emplois annuels en moyenne), puis de la productivité non énergétique (+5300 emplois annuels) et enfin des infrastructures liées à l'énergie (+4300 emplois annuels en moyenne).

-Une décroissance de la FBCF est attendue dans le scénario *business-as-usual* passant d'une moyenne de 20,4% du PIB entre 1985 et 2010 à 14,6% en 2050. Les auteurs estiment, dans le cadre du scénario TIR, que la FBCF augmentera en raison des investissements prévus dans la vision TIR.

Cette évaluation appelle plusieurs commentaires au regard des bénéfices avancés par les auteurs : il faut souligner l'insuffisante granularité de cette analyse coûts/bénéfices qui agrège les dépenses et les économies réalisées sans distinction précise des secteurs dans lesquels les gains de productivité non énergétiques sont obtenus, le coût détaillé des politiques ou la création d'emplois par secteur. Par ailleurs, le financement des mesures prises dès 2017 n'est pas abordé et il revient aux pouvoirs publics de dégager ces fonds pour financer les premières mesures de la TIR. La prudence indispensable à cet exercice exige un relativisme honnête notamment au regard des données historiques, utilisées ici comme référence d'une économie actuellement dépassée : la rigueur requiert l'utilisation de données d'un échantillon plus récent (l'économie luxembourgeoise s'est sensiblement modifiée entre 1985 et 2010) et ainsi, plus représentatif de l'évolution économique luxembourgeoise des dernières années. À ces remarques, il semble opportun d'associer une nuance quant aux bénéfices, notamment en termes d'emplois, dont les gains potentiels comparativement au niveau de la main d'œuvre actuelle ne représentent *que* 5%. Enfin, ainsi que le suggèrent les auteurs, le développement d'un ensemble de mesures précises permettant de saisir les bénéfices potentiels de la TIR par rapport au scénario de référence est indispensable.

En sus des limites intrinsèques au scénario exploré dans le chapitre «*Exploring the potential economic benefits of the Third Industrial Revolution innovation scenarios*», il est assez surprenant de constater que la question des inégalités induites par cette vision n'a pas été abordée. Le terme « inequality » est mentionné 2 fois dans l'étude stratégique : une fois pour l'inégalité dans l'occupation de l'espace et une autre fois pour indiquer que les inégalités dans le monde ont augmenté. Or comment envisager une économie de prosumers, décentralisée, où chacun roulerait en voiture électrique, produirait son énergie, disposerait chez lui d'une

imprimante 3D sans envisager un creusement des inégalités qui conduirait inéluctablement vers une économie polarisée ?

Tableau 2: Projections du scénario business-as-usual

	Metric	2015	2017	2020	2030	2040	2050
Population Growth	Inhabitants	576,192	596,303	627,794	745,278	884,746	1,050,315
GDP	Million Euros ₂₀₀₀	39,793	42,246	46,211	62,322	84,048	113,349
Total Energy Demand Reference Case	GWh	25,419	25,426	25,437	25,473	25,509	25,545
Reference Case Energy Expenditures	Million Euros ₂₀₁₅	1,997	2,008	2,024	2,077	2,133	2,190

Source: STATEC data/projections with results from the Fraunhofer Institute KomMod Model (July 2016).

Encadré 2 : Le modèle DEEPER

Le modèle Dynamic Energy Efficiency Policy Evaluation Routine (DEEPER) permet de voir comment les secteurs d'une économie s'échangent et ce même s'ils sont affectés par des stratégies d'investissement différentes ou des schémas de dépenses différents. Ce modèle développé par John A. « Skip » Laitner, mesure les impacts macroéconomiques et les créations d'emplois d'une économie qui passe de la seconde révolution industrielle à la TIR. La période historique retenue –i.e. la période d'apprentissage du modèle, est 1990-2015 et les 35 années suivantes permettent d'évaluer les tendances à venir avec 2017 comme l'année charnière du début de nouveaux schémas d'investissement.

Sur la base des modifications prévues dans la TIR (voir encadré bleu de la figure 3), le modèle DEEPER intègre ces modifications pour les secteurs concernés. Numériquement, ces modifications se traduisent dans les matrices des coefficients de la valeur ajoutée, de l'emploi, du revenu, de la productivité, etc... (Encadré rose). Elles ont par la suite divers impacts sur les autres secteurs de l'économie et le modèle DEEPER permet d'obtenir les outputs, c'est-à-dire les bénéfices ou les pertes induits par les modifications en amont pour divers facteurs (énergie, emploi, PIB, revenu...).

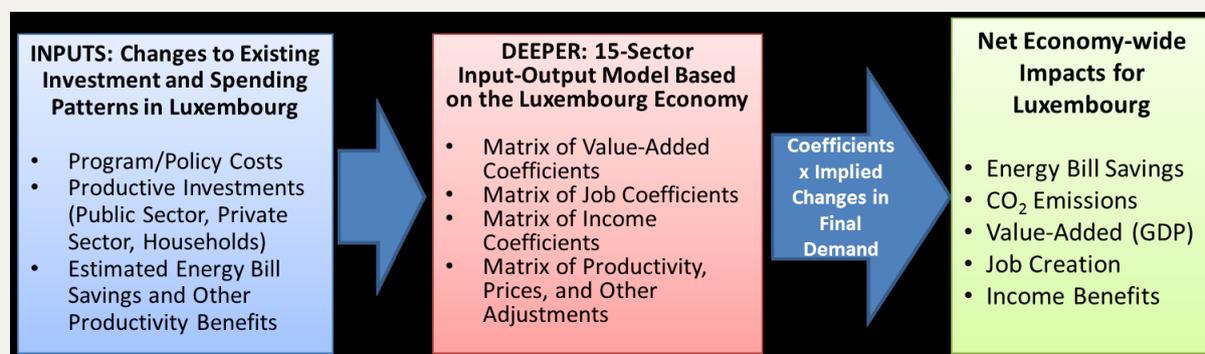


Figure 3: Le modèle DEEPER

Encadré 3 : Les limites technologiques de la TIR

Nonobstant les opportunités économiques considérables du scénario TIR, diverses limites technologiques dans l'ouvrage de J. Rifkin « Troisième Révolution Industrielle » révélées par les experts¹⁹ subsistent dans le scénario TIR pour le Luxembourg. En premier lieu, l'absence d'un « bilan matière », c'est-à-dire le bilan des prélèvements matériels sur la nature. La promotion, tout au long de l'étude, de bâtiments intelligents, de microcentrales énergétiques, d'imprimantes 3D, de voitures électriques nécessitent l'utilisation de matières premières, de minerais dont la quantité est par définition limitée. Autrement dit, un « coût marginal de l'énergie presque nul » paraît difficilement concevable même si le coût des énergies renouvelables pourrait être inférieur à celui des énergies classiques. Le groupe de travail sur l'industrie (voir p. 241) envisage la promotion de la recherche publique et privée et des industries pour développer des substituts peu coûteux. Cette solution à la finalité incertaine ne peut garantir la disponibilité des matières nécessaires à la construction des infrastructures et des technologies de la TIR. De manière assez similaire, la promotion de l'imprimante 3D disponible « pour tout un chacun » fait l'impasse du bilan matière nécessaire pour produire ces imprimantes. Dans un même registre, la promotion de véhicules propres fait obstacle à toute considération en amont d'une évaluation coût/bénéfice. L'exemple de Jancovici²⁰, qui compare le coût actuel d'une voiture électrique par rapport à une voiture ordinaire, montre qu'il faut tenir compte des émissions de fabrication pour des véhicules de poids et de performance égales tout en intégrant l'ensemble des consommations accessoires (chauffage, éclairage, etc...) et surtout le type d'électricité utilisée. Le raisonnement à grande échelle montre que l'électrification du parc de véhicules n'est intéressante que si ce parc est divisé par 2, qu'il est 4 fois moins utilisé, que les véhicules soient 3 fois moins lourds et que l'alimentation soit une électricité décarbonnée, pas trop chère. Un autre élément non-abordé dans la stratégie TIR a trait aux bâtiments anciens et notamment leur isolation, caractéristique première d'une stratégie de transition énergétique. Le stockage des énergies intermittentes par des piles à combustibles à hydrogène est un moyen de stockage énergétique discutable pour une majorité d'experts en raison des difficultés économiques, écologiques et techniques

¹⁹ Voir : <http://alternatives-economiques.fr/blogs/gadrey/files/rifkingourou6p.pdf> et <http://tempsreel.nouvelobs.com/rue89/rue89-planete/20131016.RUE9507/jeremy-rifkin-plait-beaucoup-mais-il-maitrise-mal-ce-dont-il-parle.html>

²⁰ Voir : <https://jancovici.com/transition-energetique/transports/la-voiture-electrique-est-elle-la-solution-aux-problemes-de-pollution-automobile/>

induites par un stockage à grande échelle²¹. Le remplacement total des énergies actuelles par des énergies renouvelables est difficilement concevable dans la mesure où il faudrait une diminution de 50% de la consommation énergétique. Cette diminution ne peut se faire qu'au détriment de la croissance économique. Une autre limite au scénario TIR a trait aux réseaux intelligents de partage de l'énergie conçus dans le cadre de la stratégie TIR comme une analogie du réseau informatique. Or, l'ajustement entre production et consommation est incontournable dans les *smart grids* contrairement aux réseaux informatiques. La décentralisation des moyens de productions énergétiques conduit inéluctablement à construire des installations de petites tailles plus nombreuses donc plus coûteuses énergétiquement.

²¹ Voir : <http://tempsreel.nouvelobs.com/rue89/rue89-planete/20131016.RUE9507/jeremy-rifkin-plait-beaucoup-mais-il-maitrise-mal-ce-dont-il-parle.html>

Conclusion

L'évaluation menée dans le chapitre « *Exploring the potential economic benefits of the Third Industrial Revolution innovation scenarios* » permet de mesurer les retombées économiques prospectives de l'efficacité énergétique et des ressources énergétiques renouvelables et les investissements nécessaires pour mettre en œuvre ces améliorations. La réalisation de ces objectifs est portée par un plan directeur en 3 étapes :

- une implémentation immédiate des projets de manière à signaler la nécessité d'une économie plus productive et d'une énergie plus efficiente ;
- la mise en place d'un ensemble de mesures utiles permettant d'évaluer les bénéfices à venir ;
- le développement d'une politique pertinente qui peut suivre à la fois les principaux projets et les initiatives politiques tout en informant la population sur les résultats positifs de la stratégie de l'investissement énergétique.

Aux questions soulevées dans l'introduction de cette analyse, les auteurs apportent des réponses partielles et générales. Ainsi, la décroissance future de la FBCF serait contrecarrée par les investissements importants envisagés dans le scénario TIR. Le financement initial de ces investissements reste un élément à préciser. La décroissance de la productivité serait enrayée par les effets bénéfiques d'une augmentation de l'efficacité énergétique associée aux économies futures induites par les stratégies d'investissement énergétique, conduisant ainsi à une augmentation du PIB et de la productivité.

De cette analyse critique, découle une considération selon laquelle le scénario TIR apparaît comme une vision stratégique d'une économie à long terme et non comme une stratégie pleine et entière, dans la mesure où ce scénario propose des investissements et projette des gains et des économies potentiels. La faible granularité de la vision stratégique n'est pas moins une faiblesse que le reflet d'une difficulté d'évaluation précise des coûts et opportunités futurs. En insistant sur la potentialité des effets induits par le scénario TIR, les auteurs sont pleinement conscients des difficultés et des limites qui peuvent enrayer le déroulement attendu du scénario TIR. En sus de ces limites, la vision TIR ne prend pas en compte la structure économique dans son ensemble : les mesures prises dans les différents

domaines du scénario TIR ne présagent en rien des retombées économiques et des effets de déversement sur l'ensemble des secteurs de l'économie. Elles s'apparentent beaucoup plus à des *best practices* pour converger vers une économie robuste, ce qui en soi, a le mérite d'exister et de continuer à être débattu par l'ensemble des acteurs. Dans cette perspective, il apparaît légitime de s'interroger sur l'essence même de ce chapitre qui, logiquement devrait constituer une synthèse macroéconomique des chapitres thématiques, mais qui, au vu des enseignements qui en sont issus, apparaît comme une étude à part entière, déconnectée des chapitres thématiques.

Par ailleurs, ainsi que nous les détaillons dans l'encadré 3, il subsiste nombre de limites technologiques déjà mises en évidence par des experts. En outre, la question du creusement des inégalités est éludée.

L'exercice s'apparente plus à une justification « macroéconomique » des bénéfices potentiels susceptibles de se produire dans le cadre du scénario d'innovation TIR qu'à une mesure précise des effets bénéfiques de ces innovations : cette limite, bien identifiée par les auteurs, permet de cadrer les conclusions de cette étude. Il n'en reste pas moins que l'exercice dans sa globalité permet de réunir toute une palette d'individus : experts, décideurs publics, entrepreneurs, citoyens,... qui mènent, au travers de conférences, de projets, de comités de suivi, une réflexion sur les opportunités et les défis à long terme, et qu'en ce sens, la stratégie TIR a permis l'émergence d'une volonté commune de prendre part à la destinée future du Grand-Duché.