IDDRI

SciencesPo.

WORKING PAPER

N°11/13 JUILLET 2013 | NOUVELLE PROSPÉRITÉ

Les espoirs de la révolution industrielle verte : une perspective historique

Damien Demailly (Iddri),
Patrick Verley (Université de Genève)

LES TECHNOLOGIES VERTES POUR UNE NOUVELLE VAGUE DE CROISSANCE ?

Le concept de croissance verte insiste sur le fait que la protection de l'environnement est compatible avec la croissance économique, voire qu'elle la renforce. Il regroupe un ensemble d'arguments variés : coût évité de la dégradation environnementale pour l'économie, avantage comparatif vert, relance keynésienne verte, etc. Récemment, s'y est associée l'idée forte selon laquelle les technologies vertes pourraient déclencher une nouvelle « vague » de gains de productivité, et donc de croissance, comparable ou supérieure à celle générée par la machine à vapeur, le rail ou l'électricité. Quels sont les ressorts de cet espoir d'une « révolution industrielle verte » ? Comment analyser ce concept dans la perspective historique des ruptures technologiques et de la croissance économique ?

LE RÔLE TRANSFORMATIONNEL DES TECHNOLOGIES

L'histoire des révolutions industrielles et de la croissance économique est bien plus riche que celle des technologies : elle s'accompagne de transformations radicales de l'organisation du travail et des entreprises, du compromis social ou encore de la figure du consommateur. Nous nous en tenons néanmoins ici au rôle des technologies, en mettant en avant les caractéristiques clés de celles qui ont marqué l'histoire. Au-delà de leur capacité à toucher des secteurs importants et variés, nous insistons sur le fait qu'elles ont ouvert la porte à de profondes réorganisations économiques à fort potentiel de productivité. Elles n'ont pas seulement permis de faire la même chose qu'avant à moindre coût, mais de faire différemment.

LES LIMITES DES TECHNOLOGIES VERTES

On peut douter de la capacité des technologies vertes actuellement envisagées, au croisement des enjeux énergétique et climatique, à ouvrir la voie à de telles réorganisations. L'électricité verte reste de l'électricité, la voiture verte reste une voiture. L'organisation économique est certainement appelée à évoluer, notamment sous l'impulsion des technologies de l'information et de la communication. Mais si les nouvelles technologies de l'énergie doivent être pensées dans ce contexte de transformation, il est difficile de voir aujourd'hui en quoi elles peuvent jouer un rôle moteur. L'espoir de la révolution industrielle verte et d'une nouvelle vague de croissance repose alors sur des ruptures technologiques et sur des innovations d'une autre nature, comme l'économie de la fonctionnalité.

www.iddri.org

Institut du développement durable
et des relations internationales
27, rue Saint-Guillaume
75337 Paris cedex 07 France

Copyright © 2013 IDDRI

En tant que fondation reconnue d'utilité publique, l'Iddri encourage, sous réserve de citation (référence bibliographique et/ou URL correspondante), la reproduction et la communication de ses contenus, à des fins personnelles, dans le cadre de recherches ou à des fins pédagogiques. Toute utilisation commerciale (en version imprimée ou électronique) est toutefois interdite.
Sauf mention contraire, les opinions, interprétations et conclusions exprimées sont celles de leurs auteurs, et n'engagent pas nécessairement l'Iddri en tant qu'institution.

Citation: Demailly, D., Verley, P. (2013), *Les espoirs de la révolution industrielle verte : une perspective historique*, Working Papers n°11/13, Iddri, Paris, France, 14 p.

☆☆☆

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du programme « Investissements d'avenir » portant la référence ANR-10-LABX-01.

☆☆☆

Pour toute question sur cette publication,
merci de contacter les auteurs :

Damien Demailly — damien.demailly@iddri.org
Patrick Verley — Patrick.Verley@unige.ch

ISSN 2258-7071

Les espoirs de la révolution industrielle verte : une perspective historique

Damien Demailly (Iddri),
Patrick Verley (Université de Genève)

1. INTRODUCTION 5

2. LE PROFIL DES TECHNOLOGIES QUI ONT MARQUÉ L'HISTOIRE DES RÉVOLUTIONS INDUSTRIELLES 6

2.1. Les gains de productivité 6

2.2. Le marché potentiel 7

3. LES TECHNOLOGIES VERTES COMPARÉES AUX GRANDES INNOVATIONS D'HIER 8

3.1. Le marché potentiel des technologies vertes 8

3.2. Les gains de productivité « directs » 9

4. FAUT-IL ÊTRE DÉTERMINISTE POUR ÊTRE OPTIMISTE ? 9

5. A-T-ON BESOIN DE TECHNOLOGIES VERTES POUR RÉORGANISER L'ÉCONOMIE ? 11

6. CONCLUSION 11

RÉFÉRENCES 13

1. INTRODUCTION

Les défis environnementaux locaux et globaux se multiplient alors que de nombreux pays industrialisés sont confrontés depuis la fin de la période de haute croissance des années 1950 et 1960 à des gains de productivité faibles, et depuis quelques années à une grave crise conjoncturelle. Dans ce contexte, de nombreux partisans d'une protection accrue de l'environnement insistent sur les effets économiques positifs des mesures qu'ils proposent. Ils mettent toujours en avant le fait que l'inaction et la dégradation environnementale auraient des impacts économiques très forts et dommageables (Stern, 2007 ; TEEB, 2010), mais le cœur de l'argumentaire a changé. Ainsi, les investissements dans les technologies et les infrastructures vertes ont été récemment au cœur du débat sur les plans de relance (voir par exemple Robins *et al.*, 2009). En plus de ce keynésianisme vert, les tenants de la croissance verte insistent sur le fait que les mesures en faveur de l'environnement constituent des opportunités pour rendre nos systèmes fiscaux plus efficaces grâce à la fiscalité écologique ou encore mettre un terme au gaspillage de certaines ressources (Jacobs, 2012).

D'autres auteurs, comme Jeremy Rifkin (2012) ou Nicholas Stern (2012), vont encore plus loin et prédisent une nouvelle révolution industrielle à fort contenu écologique, grâce aux technologies vertes, et que l'on qualifiera ici de « révolution industrielle verte » (RIV). En faisant référence à l'histoire des révolutions industrielles aux XIXe et XXe siècles, ces auteurs et ceux qui s'en inspirent lèvent – volontairement ou non – l'espoir d'un sursaut de l'activité économique pendant plusieurs décennies, d'une nouvelle vague de gains de productivité et donc de croissance « comparable, voire supérieure à celles générées par la machine à vapeur, le rail, l'électricité ou les technologies de l'information » (Stern, 2012)[1]. La RIV ne se propose pas de protéger l'économie et son potentiel de croissance face à la raréfaction de ressources naturelles et à la dégradation environnementale ; elle porte la promesse d'une nouvelle vague de croissance qui sortirait les pays industrialisés d'une certaine atonie économique. Sous quelles conditions cet espoir d'une nouvelle vague de croissance verte est-il crédible ? La RIV est-elle autre chose qu'un récit positif et mobilisateur, qui insiste sur les opportunités plutôt que sur les dangers de la dégradation environnementale ?

Nous traitons cette question en adoptant une perspective historique[2]. Cette approche est motivée

1. Les révolutions technologiques sont au cœur de la tradition schumpétérienne pour expliquer les cycles économiques longs. Peut-on facilement faire le lien, historiquement, entre cycle technologique et cycle économique ? Comme tous les auteurs le reconnaissent, pour qu'une grande invention se diffuse et ait un impact macroéconomique notable, de nombreuses réorganisations sont nécessaires. Ainsi, l'électricité a attendu longtemps avant de quitter sa « niche » luxueuse dans les grands magasins et de pénétrer dans les usines, et c'est seulement quand l'organisation du travail dans ces dernières a été modifiée et les ouvriers formés que les entreprises ont pu en tirer des avantages économiques substantiels. Mais cela n'a concerné d'abord que les entreprises pionnières, et il a fallu des décennies avant que ne se généralisent ces pratiques. Il est alors empiriquement extrêmement difficile, sinon impossible, de faire le lien entre l'invention de l'électricité et l'évolution macroéconomique d'un pays. L'exercice est encore plus périlleux quand on s'intéresse non pas à une invention mais à une constellation de technologies nouvelles et qu'on cherche à montrer son lien avec une vague de croissance. Les bases empiriques de l'école schumpétérienne sont donc fragiles.
2. Nous nous distinguons des nombreux travaux, regroupés par exemple dans le numéro spécial de *Energy Policy*, volume 50, 2012, qui utilisent l'histoire pour étudier non pas tant le potentiel de croissance mais les conditions et obstacles à la diffusion des technologies vertes et plus généralement à la transition vers une société bas carbone.

par le fait que les tenants de la RIV invoquent directement ou non l'histoire[3] pour soutenir leur récit d'une nouvelle vague de croissance tirée par les technologies vertes. Par ailleurs, si l'histoire n'est pas un éternel recommencement, elle permet d'identifier les processus qui ont permis à des technologies et plus généralement à des innovations de générer une croissance soutenue, et de détecter si des tels processus sont en cours aujourd'hui.

La section 2 identifie les caractéristiques des technologies qui ont marqué les révolutions industrielles des deux siècles précédents en permettant d'importants gains de productivité. La section 3 analyse si les technologies vertes correspondent à ce profil. La section 4 se concentre sur une caractéristique centrale : la capacité de ces technologies à permettre des gains de productivité « indirects », des « réorganisations » fortes de l'économie et de la société. La section 5 s'interroge sur les réorganisations qui – indépendamment des technologies vertes – peuvent marquer la transition vers plus de durabilité environnementale.

Comme les avocats de la RIV, nous nous concentrons ici sur les problématiques environnementales à l'interface de l'énergie et du climat[4]. Par « technologies vertes », nous entendons donc celles liées à la production et la consommation d'énergie et qui offrent des alternatives aux énergies fossiles. Autre limite : nous nous intéressons aux technologies qui sont aujourd'hui sur le devant de la scène et font le cœur des investissements verts, à commencer par les énergies renouvelables – solaire et éolien en tête –, la capture et stockage de carbone (CSC), le véhicule électrique, etc. Ce faisant, nous excluons de l'analyse les ruptures technologiques. Nous y reviendrons en conclusion[5].

3. Directement chez J. Rifkin et indirectement chez N. Stern qui se réfère aux travaux de Carlota Perez (2002) sur les liens entre révolutions technologiques et révolutions industrielles.

4. Les technologies du recyclage, de protection du capital naturel (dépollution des eaux et des sols par exemple) ou dans le domaine agricole sont au-delà du périmètre de cet article, mais, en toute rigueur, il faudrait les intégrer à l'analyse pour estimer l'impact économique potentiel à long terme des technologies vertes.

5. Notons que N. Stern (2012) et encore plus clairement J. Rifkin (2012) comptent – notamment – sur ces technologies vertes d'ores et déjà disponibles pour impulser une RIV.

2. LE PROFIL DES TECHNOLOGIES QUI ONT MARQUÉ L'HISTOIRE DES RÉVOLUTIONS INDUSTRIELLES

L'histoire des révolutions industrielles est bien plus riche que celle des techniques, puisqu'elle s'accompagne de transformations radicales de l'organisation du travail et des entreprises, du compromis social ou encore de la figure du consommateur. Dans la lignée des promoteurs de la RIV, nous nous restreignons néanmoins à l'analyse des technologies vertes. Peuvent-elles induire des gains de productivité comparables à la mécanisation de l'industrie textile, à la diffusion de la machine à vapeur, de l'électricité, de la sidérurgie, du moteur à explosion, de la chimie de synthèse, de la télégraphie, de la téléphonie ? Nous essayons d'identifier dans cette section quelques caractéristiques communes à ces dernières.

2.1. Les gains de productivité

Tout d'abord, c'est une évidence bonne à rappeler : les grandes innovations d'hier ont permis d'augmenter la productivité, c'est-à-dire de fournir à moindre coût un bien antérieurement fabriqué ou un service précédemment assuré par d'autres techniques. Sans que l'innovation fondamentale ait forcément été conçue en direction de ce produit (les cas du transistor et du laser sont emblématiques à cet égard). À ses « débuts », une nouvelle technologie peut compter sur des avantages hors coût pour se créer un marché de niche, à l'image de l'électricité qui a conquis les grands magasins haut de gamme par son côté luxueux. Mais une technologie doit progressivement générer d'importants gains de productivité si elle veut sortir de cette niche et avoir un impact durable sur les secteurs où elle s'applique.

Comment les technologies ayant marqué l'histoire économique génèrent-elles des gains de productivité ? Cela peut être de manière assez simple, directe, à l'image de la mécanisation de l'industrie textile qui a multiplié la productivité des travailleurs en quelques décennies et fait chuter le prix du fil et des tissus. À l'image aussi de la chimie de synthèse qui s'est développée en fournissant à l'industrie textile des substituts aux colorants naturels – souvent rares et soumis à des mouvements spéculatifs comme l'indigo en provenance d'Inde.

Mais les « grandes technologies » ont aussi, de manière plus indirecte, ouvert la porte à des réorganisations économiques profondes. La machine à vapeur, en se substituant à l'énergie hydraulique et aux cours d'eau, n'a pas (seulement) fourni une source énergétique moins chère ; elle a également permis la concentration géographique des usines

– il était impossible de grouper de nombreux moulins en un même site – et leur localisation plus près des ressources primaires et/ou des lieux de consommation. Avec l'arrivée de ce qu'on a rapidement appelé la « fée électricité », le lien entre gisements énergétiques et localisations industrielles se distend encore plus[6]. Grâce au moteur électrique, elle autorise une réorganisation spatiale à l'intérieur des usines, plus rationnelle[7].

Enfin, n'oublions pas les technologies de transport de marchandises ou de l'information, les réseaux : automobiles et routes, train et rail, télégraphe, téléphone et aujourd'hui les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC). Le rail a permis l'extension des marchés, l'exploitation d'économies d'échelle ou d'avantages comparatifs, la spécialisation des territoires, etc. De même pour les TIC – pas nécessairement « nouvelles » – qui ont facilité les échanges internationaux, le flux tendu, la coordination à l'intérieur d'entreprises en réseaux puis de très grandes entreprises.

Les réorganisations ne sont pas toujours aussi profondes, et la frontière entre les gains de productivité « directs » et « indirects » est très poreuse[8]. Mais on retiendra que les technologies qui ont marqué l'histoire n'ont pas seulement fait baisser le prix d'un bien ou service, mais ont aussi – souvent – ouvert la porte à des réorganisations économiques génératrices d'importants gains de productivité. La fée électricité en est une parfaite illustration.

2.2. Le marché potentiel

Les technologies qui ont marqué l'histoire ont concerné des secteurs de consommation finale ou intermédiaire majeurs. Commençons par la consommation finale avec l'exemple de la mécanisation du textile. Le tissu, pour l'habillement et l'ameublement, représentait une part importante du budget des ménages populaires, le second poste des dépenses après l'alimentation, avec une part de 12 à 16 % durant tout le XIXe siècle (Verley, 1997). La baisse du prix[9] des tissus dont la demande était à forte élasticité prix a constamment étendu le marché de ce produit en volume – socialement et spatialement dans l'ensemble du monde. Ce n'est que tardivement qu'est apparue une tendance à la saturation. La première industrialisation a été tirée par le textile qui représentait environ un tiers de la production industrielle. La demande en tissus était donc majeure au sens non seulement où elle représentait une part importante des dépenses finales de l'époque, mais aussi où la demande « potentielle » était importante.

Évidemment, un secteur de consommation peut – contrairement au textile à l'époque – représenter une part faible des dépenses des ménages et pourtant être le moteur d'une « révolution industrielle ». Comme Enrst Engel le notait, après l'alimentation ou l'habillement, il y a des besoins « supérieurs », qui augmentent avec le revenu, comme l'ameublement, le loisir, la culture, la santé ou la mobilité. Le chemin de fer puis l'automobile ont suscité voire créé leur marché, en faisant apparaître des formes nouvelles de besoin que les contemporains n'avaient initialement pas envisagés. Les promoteurs des chemins de fer ont pensé qu'ils allaient fortement réduire le coût du transport des marchandises et donc stimuler le commerce ; ils ne se doutaient pas que la demande des voyageurs allait croître exponentiellement. On connaît la boutade du ministre Thiers devant l'afflux de Parisiens voulant faire le voyage Paris-Saint Germain : « c'est un jouet pour les Parisiens, ils s'en lasseront vite »[10].

Nous nous intéressions jusque-là à la consommation finale, celle des ménages. Mais les technologies clés de l'histoire économique ont aussi concerné la consommation intermédiaire. C'est le cas de la machine à vapeur et du train, de la chimie de synthèse, de la sidérurgie, de l'électricité ou des

6. Le transport de charbon n'était économiquement rentable que par mer ou voie fluviale. C'est donc à proximité des ports et des cours d'eau que le charbon pouvait être utilisé. L'électricité, quant à elle, pouvait être distribuée plus largement, même s'il a fallu attendre les progrès sur le transport de haut voltage et la construction de réseaux qui furent tout d'abord régionaux.

7. On peut alors organiser l'usine pour réduire au maximum le transport de matières (par exemple dans les aciéries) ou pour adopter le travail à la chaîne (déplacement du produit plutôt que des hommes) qui existait à l'état embryonnaire, notamment dans la carrosserie.

8. Ainsi, la machine à vapeur a permis d'éviter certains défauts de l'énergie hydraulique tels que l'irrégularité du courant, l'assèchement des rivières l'été dans le sud, leur gel dans le nord. Ainsi que les inconvénients des voiliers comme l'irrégularité des horaires et des temps de transport. Il n'est pas aisé de placer ces avantages de la machine à vapeur dans la typologie « gains directs » versus « gains indirects ».

9. Notons que les gains de productivité ne se traduisent pas automatiquement par la baisse des prix, les producteurs pouvant adopter une stratégie autre, à l'image du secteur des parfums et autres produits de luxe.

10. Si l'on a construit le Paris-Saint Germain, ou le Saint-Petersbourg-Tsarskoïe Selo, ce n'était pas pour permettre aux Parisiens ou aux Pétersbourgeois d'aller à la campagne, mais pour prouver aux décideurs politiques et financiers la faisabilité du chemin de fer pour le lancement de lignes à l'échelle du pays.
NB : pour satisfaire ces « nouveaux » besoins, il faut certes des gains de productivité dans leur production, mais aussi des gains générés ailleurs dans l'économie et qui génèrent une demande supplémentaire pour ces besoins.

technologies de l'information et de la communication. À l'image des TIC, elles concernent de nombreux secteurs, si ce n'est tous, dans des proportions variées. De nombreux auteurs insistent sur l'importance du caractère générique de ces innovations technologiques (Pearson et Foxon, 2012). Les réseaux de transports de biens et d'informations concernent tous les secteurs. La machine à vapeur a quitté les mines de charbon où elle a d'abord été utilisée, pour révolutionner la mobilité et entrer dans les usines.

Si elles ont pu se développer d'abord dans des niches grâce à leurs avantages hors coût, les technologies qui ont marqué l'histoire se sont surtout diffusées en générant d'importants gains de productivité, directement ou indirectement. Elles ont concerné des grands secteurs de consommation, voire se sont diffusées à l'ensemble de l'économie. Notons enfin une troisième caractéristique importante, que nous ne traiterons néanmoins pas par la suite : la « dynamique de créativité ». Ainsi, la filière textile a tiré le développement quantitatif mais aussi qualitatif de la construction de machines et de l'industrie chimique. Les innovations dans le textile ont impulsé celles dans les secteurs amont de la construction mécanique, la chimie minérale des produits de blanchiment, puis la chimie des colorants synthétiques dans la seconde moitié du XIXe siècle.

3. LES TECHNOLOGIES VERTES COMPARÉES AUX GRANDES INNOVATIONS D'HIER

Les technologies vertes correspondent-elles au « profil » des grandes innovations qui ont marqué l'histoire économique et généré d'importants gains de productivité ? Commençons par discuter la taille de leur marché potentiel.

3.1. Le marché potentiel des technologies vertes

Le marché des technologies vertes est en plein essor. Le marché des énergies renouvelables a atteint 260 milliards de dollars en 2011 (Bloomberg, 2012), deux fois plus qu'en 2007. Certes, cela ne représente que 15 à 30 % des investissements sur le marché de l'énergie[11], et entre 0,5 et 2,5 % des investissements globaux. Mais les révolutions technologiques citées précédemment ont d'abord concerné des niches de consommation, des segments de branche, les technologies et secteurs traditionnels restant longtemps dominants au plan quantitatif. Le très faible rendement de la machine à vapeur à ses débuts et le caractère alternatif de son mouvement la confinait au pompage de l'eau dans les puits de mines de charbon. Entre les brevets de Newcomen (1710-1712) et la sortie de cette « niche » économique, il aura fallu attendre environ huit décennies[12]. Difficile donc de tirer des conclusions à partir de la taille du marché actuel des technologies vertes. Mais que peut-on dire de leur marché potentiel ?

Du point de vue des consommations intermédiaires, les technologies vertes peuvent être considérées comme génériques. Tous les secteurs consomment de l'énergie pour leurs besoins de chaleur ou de mobilité, et certains plus que d'autres comme les transports, l'agriculture ou l'industrie manufacturière. En matière de consommation finale, la facture énergétique représente plus de 8 % du budget des ménages français (Merceron *et al.*, 2010). Sur le plan macroéconomique, enfin, les dépenses énergétiques aux États-Unis sont de l'ordre de 8 % du PIB, avec des pointes autour de 10 %, voire au-dessus, pendant les pics pétroliers (EIA).

La taille du marché potentiel des technologies vertes est donc conséquente – comparable à celle du marché du tissu au XIXe siècle – et les perspectives d'évolution ne sont pas sombres. Que les pays découplent ou non leur consommation énergétique et leur PIB, en relatif ou en absolu, il y a fort à parier que nos sociétés auront besoin d'au moins autant de « services énergétiques ». Que le chauffage d'un logement soit écologique ou qu'il soit remplacé par de l'isolation et de la domotique, le grand marché des technologies vertes est toujours mobilisé[13].

Notons enfin que, pour les auteurs de l'International Society for Ecological Economics, le rôle de l'énergie dans le fonctionnement de l'économie est sous-estimé (Ayres et Warr, 2009). Ils mettent en avant que « niveau de vie » et consommation énergétique sont étroitement liés : sans énergie, pas de nourriture, pas de mobilité, pas de chauffage, pas

11. Selon GEA (2012, chapitre 6), les investissements dans l'offre et la demande énergétique sont de l'ordre de 900-1 500 milliards de dollars. Et la part des investissements dans le secteur énergétique est de l'ordre de 4 à 8 % des investissements mondiaux.

12. La sidérurgie française du milieu du XIXe siècle ne pesait guère plus lourd que les industries parisiennes du meuble et de l'habillement ; le secteur automobile n'était que peu de chose à la veille de 1914 tout comme la production d'ordinateurs dans les années 1980.

13. 13. En toute rigueur : c'est le grand marché des technologies et « services » verts qui est toujours gagnant. Mais le premier peut se réduire au profit du second (artisans qui isolent les bâtiments, loueurs de véhicules en auto partage, etc.).

de transformation industrielle, pas d'ordinateurs On peut rapprocher cela des travaux de certains historiens qui mettent l'énergie au cœur des révolutions industrielles. Ainsi, pour R. J. Forbes (1958), l'invention de la machine à vapeur au XVIIIe siècle est le fait central de la révolution industrielle, suivi par l'introduction de nouvelles forces motrices : la turbine hydraulique, le moteur à explosion et la turbine à vapeur au XIXe siècle, la turbine à gaz au XXe siècle. Pour Wrigley (1988), c'est l'émergence des sources d'énergie fossiles qui est au cœur de la révolution industrielle. Ces travaux ne font pas l'unanimité chez les historiens, pas plus que ceux de l'International Society for Ecological Economics chez les économistes. Mais on peut retenir que les technologies vertes semblent remplir le critère « taille du marché » pour postuler au rôle de successeur de la machine à vapeur.

3.2. Les gains de productivité « directs »

Encore faut-il que l'utilisation des technologies vertes génère des gains de productivité. Commençons par les gains directs, donc le coût de production d'énergie à base de sources renouvelables ou de CSC, ou celui de la mobilité électrique. Il est évidemment très ardu de faire des projections à dix, vingt ou trente ans sur le coût des technologies vertes. Ceci étant, en l'état actuel de nos connaissances et en se limitant aux technologies qui sont au cœur de la transition énergétique aujourd'hui, il y a matière à se montrer prudent.

Le CSC ne réduit pas le coût des énergies fossiles, au contraire. Le coût du nucléaire – si tant est qu'il puisse être classé parmi les technologies vertes – est largement débattu, mais la tendance actuelle est plutôt à sa hausse. Les énergies renouvelables ou la voiture électrique sont sur une dynamique de baisse des coûts, et d'aucuns espèrent que le mix renouvelable sera compétitif à court ou moyen termes sur les énergies fossiles et les voitures thermiques. Même en prenant en compte les modifications nécessaires des différents réseaux. Mais de là à imaginer une baisse drastique du prix de l'énergie ou de la mobilité par rapport à la situation actuelle, il y a un pas que même les défenseurs des énergies alternatives ne franchissent pas (Fraunhofer, 2012). L'avenir a toutes les chances d'être marqué par une énergie chère plutôt que par une énergie quasi gratuite. Certes les technologies qui économisent l'énergie peuvent adoucir voire contrecarrer cette tendance. Mais le rôle de la transition énergétique et en l'occurrence des technologies vertes semble plutôt être de protéger l'économie mondiale de chocs pétroliers que de faire chuter le prix des services énergétiques.

Si on se limite aux technologies vertes d'ores et déjà disponibles et en plein essor, on peut donc se montrer sceptique sur le potentiel de croissance grâce à des gains de productivité « directs ». Peuvent-elles induire une réorganisation profonde de l'économie ?

4. FAUT-IL ÊTRE DÉTERMINISTE POUR ÊTRE OPTIMISTE ?

Les technologies vertes peuvent transformer profondément la manière dont est produite l'énergie. À la place d'un système énergétique centralisé, on peut en imaginer un complètement décentralisé, où chaque consommateur, chaque site industriel est producteur d'énergie. Nous questionnons ici la capacité des technologies vertes comme celle de la machine à vapeur, de la fée électricité ou des réseaux de transport à induire des réorganisations plus profondes dans le reste de l'économie, dans les secteurs consommateurs.

Stern (2012) n'est pas explicite sur ce point. Le cœur de son analyse repose sur l'ajout des technologies vertes à la nouvelle révolution technologique identifiée par Perez (2002). Cette dernière, dans la tradition schumpétérienne, envisage bien l'émergence d'une nouvelle vague de croissance, d'une nouvelle « constellation » technologique qui « interagit » fortement avec l'organisation de l'économie. Mais la constellation est portée avant tout par les NTIC. La croissance verte est alors une « direction » pour le déploiement de la révolution des NTIC, mais les technologies vertes ne sont pas une révolution en tant que telles[14].

J. Rifkin accorde pour sa part une grande place aux NTIC et aux énergies renouvelables, les précédentes révolutions industrielles étant selon lui la combinaison d'une révolution de la communication et d'une révolution énergétique[15]. Il fait preuve d'un fort déterminisme technologique en partant du principe que les technologies énergétiques déterminent non seulement l'organisation des secteurs consommateurs, mais plus généralement l'économie et la société. Les énergies fossiles étant centralisées, elles auraient conduit aux grandes entreprises verticales et à la taylorisation de l'usine comme de l'école. Les énergies renouvelables étant

14. Communication personnelle avec l'auteur.

15. L'énergie semble néanmoins jouer un rôle prépondérant quand il ajoute que « les régimes énergétiques déterminent la nature des civilisations », leur façon de s'organiser, de répartir les fruits de l'activité économique et des échanges, d'exercer le pouvoir politique et de structurer les relations sociales.

selon lui décentralisées, elles conduiraient alors à une économie distribuée, latéralisée.

La tentation est grande en effet de voir la concentration des travailleurs au XIXe siècle au sein d'usines de plus en plus grandes et toujours plus hiérarchisées comme la conséquence logique de la mécanisation et de l'utilisation de sources énergétiques « centralisées » comme les grandes machines à vapeur. Les machines et la concentration, c'est ce qui a en effet marqué les contemporains des débuts de la révolution industrielle. Pourtant le processus de concentration a bien d'autres origines, à commencer par la volonté des entrepreneurs de spécialiser et surtout de mieux contrôler leurs ouvriers (qualité de l'ouvrage, temps de travail, préservation des secrets de fabrication, etc.). La proto-industrie, décentralisée, a commencé à décliner avant que la machine à vapeur ne commence à transformer l'industrie. Et la concentration s'est poursuivie après l'adoption d'un vecteur énergétique comme l'électricité qui portait pourtant la promesse d'une nouvelle vigueur pour l'artisanat et la production à domicile dans les campagnes – un type d'organisation en déclin, mais que l'on regardait alors avec nostalgie car il assurait le calme social[16].

Historiquement, les évolutions technologiques ont été de pair avec une réorganisation substantielle de l'économie et des sociétés. L'existence et le sens des liens de causalité, leur caractère unique et mécanique ou bien lâche et contingent sont des débats qui divisent la communauté des historiens. Contrairement à J. Rifkin, notre analyse est que les technologies ne déterminent pas l'organisation de l'économie, mais ouvrent des portes à sa réorganisation. Le chemin qui sera alors suivi est autant une affaire de rapports de force politiques et économiques. En « ouvrant des portes », la technologie n'est néanmoins pas neutre. Si personne n'est obligé d'entrer par une porte ouverte, c'est néanmoins une invitation à l'utiliser. Et il n'est pas évident que l'on puisse revenir en arrière.

Sans préjuger du résultat à l'avenir de tels rapports de force, posons-nous donc la question : quelles portes les technologies vertes ouvrent-elles ? Si on ne part pas du principe que l'économie est organisée selon son système énergétique, par quels processus les technologies vertes peuvent-elles influencer les secteurs consommateurs et le reste de l'économie ?

Suivons J. Rifkin et imaginons une organisation complètement différente de la production d'énergie, avec l'essor des renouvelables et la domination de la mobilité électrique. L'électricité ne serait plus produite dans des grandes centrales, chaque bâtiment serait une source d'énergie, et le déploiement d'un réseau intelligent permettrait les échanges, notamment avec les voitures électriques. Ce scénario décentralisé est possible, tout autant qu'un scénario renouvelable centralisé. Mais en quoi cela transformerait-il l'organisation de la production des autres biens et services dans l'économie ? Le CSC, le nucléaire et les énergies renouvelables transforment la production d'électricité, mais ne proposent pas de nouveau vecteur énergétique. Certes, le réseau électrique deviendra plus intelligent dans le cadre d'une transition vers un système 100 % renouvelable. Mais, au final, il est toujours question d'un « interrupteur » que l'on baisse ou que l"on relève, dans une usine ou un bâtiment, lorsque c'est nécessaire. Qui peut faire la différence entre un électron issu d'une centrale à charbon et celui issu d'un panneau solaire (Zysman *et al.*, 2012) ? Entre un électron transporté par un vieux réseau électrique et un autre par un super-réseau intelligent ? Qu'est ce que cela change pour le consommateur ? Et c'est la même chose pour la voiture électrique : c'est une voiture avec une motorisation différente, que l'on peut qualifier de verte, mais cela reste une voiture appelée *a priori* à circuler sur les mêmes routes qu'aujourd'hui et à être utilisée de la même façon. On change la motorisation du « vecteur », dans le cas présent la voiture, mais il n'y a pas de nouveau vecteur ouvrant la voie à de nouveaux usages.

Retenons donc que les réorganisations qu'autorisent les technologies vertes semblent avoir déjà été « exploitées » par la diffusion au XXe siècle de l'électricité, de l'automobile et de leurs réseaux respectifs. On peut donc se montrer sceptique sur leur potentiel de gains de productivité indirects. L'organisation économique est certainement appelée à évoluer dans les décennies à venir, en particulier avec la diffusion des NTIC qui ouvrent, elles, des portes, mais il est difficile d'accorder aux technologies vertes un rôle moteur dans cette transformation.

Notons, en conclusion de cette section, que les auteurs de la RIV ont le mérite de nous faire porter une attention particulière aux interactions entre les technologies vertes et celles de l'« ère de l'information ». Ainsi, les nanomatériaux ultralégers et résistants peuvent transformer les voitures électriques en *hypercars* (Lovins *et al.*, 2000) extrêmement légères et sobres en énergie. Les NTIC peuvent rendre nos réseaux électriques intelligents pour exploiter tous les potentiels énergétiques renouvelables décentralisés, malgré l'intermittence de certains. Les « compteurs intelligents » et autres outils domotiques peuvent renforcer les

16. De fait, une activité rurale à domicile comme la bonneterie troyenne retrouve un nouveau souffle. Avant de disparaître lors de la crise des années 1930.

mesures d'économie d'énergie dans les bâtiments, les nouveaux matériaux faciliter leur isolation. Cela ne change pas le fait que les technologies vertes ne semblent pas ouvrir la porte à des gains de productivité « indirects », mais peut être y a-t-il plus matière à espérer pour les gains directs dans ce cadre d'innovation élargi.

5. A-T-ON BESOIN DE TECHNOLOGIES VERTES POUR RÉORGANISER L'ÉCONOMIE ?

Les technologies vertes ne semblent pas permettre la réalisation de réorganisations profondes de l'économie, hormis potentiellement à l'intérieur du secteur énergétique. Mais comme nous l'avons vu précédemment, l'histoire a été marquée par des réorganisations autonomes par rapport aux évolutions technologiques, à l'image de la taylorisation du travail. Dans cette section « exploratoire », nous signalons donc les nouvelles organisations économiques discutées dans le cadre de la construction d'une économie verte.

Prenons l'exemple de l'auto-partage, ou plus généralement de l'utilisation collective de voitures individuelles. Notons qu'il peut se faire avec des véhicules électriques, à l'image du système Auto-Lib' à Paris, mais qu'il peut aussi se faire avec des voitures traditionnelles. L'auto-partage n'est qu'un exemple de l'économie de la fonctionnalité, nouvelle organisation économique qui – dans une acception très peu restrictive – fait primer l'usage sur la propriété et les fournisseurs de services durables sur les producteurs de biens. Ainsi, plutôt que d'acheter une voiture – électrique ou non –, un consommateur peut acheter un service mobilité : il a accès quand il le souhaite au véhicule qui lui convient le mieux. Plutôt que d'acheter des pneus, un transporteur routier achète un service pneumatique pour ses camions : les pneus sont posés et entretenus par une entreprise dont ils restent la propriété. Un tel système peut être étendu à une grande quantité de biens, de l'électroménager à la photocopieuse en passant par la moquette et les solvants industriels. Il est censé être économe en ressources car les biens ont vocation à être plus durables, mieux entretenus, réparés, recyclés et/ou moins nombreux.

Cette réorganisation économique « verte » peut-elle soutenir l'espoir d'une RIV en générant d'importants gains de productivité ? Le système économique actuel conduit à la production de biens à obsolescence rapide et à la possession de biens sous-utilisés : une voiture coûte de environ 6 000 euros par an toutes dépenses comprises et reste 95 % de son temps au parking. L'économie de la fonctionnalité, en organisant l'utilisation collective de biens individuels, permet de diviser ces coûts et de réaliser des gains de productivité potentiellement drastiques. « Potentiellement », car l'impact macroéconomique de l'économie de la fonctionnalité reste malheureusement un sujet peu étudié. Il est vrai que la croissance économique est rarement l'objectif des promoteurs de l'économie de la fonctionnalité, qui préfèrent élargir la notion de valeur en y intégrant la durabilité environnementale, la dynamique territoriale ou la qualité du travail et du lien social.

L'économie de la fonctionnalité est un exemple de réorganisation économique verte. On peut également citer la réorganisation des sites industriels pour favoriser les synergies entre usines en matière d'énergie ou de matières, l'écologie industrielle, parmi les réorganisations regroupées sous le vocable « d'économie circulaire »[17]. Ou encore, en sortant du champ énergie-climat, le développement des circuits courts, par exemple dans le secteur agricole.

6. CONCLUSION

La littérature académique est riche en arguments en faveur d'une compatibilité entre croissance et environnement, regroupés sous l'expression de croissance verte. Parmi ces arguments, le plus robuste reste celui des dommages environnementaux à éviter, en particulier l'impact de changements climatiques brusques, de « points de ruptures » du climat, ou des chocs énergétiques à venir. La protection de l'environnement est donc une nécessité forte. Peut-on aller plus loin et, comme les partisans de la RIV le pensent, espérer une véritable « vague » de croissance de plusieurs décennies sous l'effet des nouvelles technologies vertes ?

Nous avons vu que l'espoir d'une RIV est fragile si on s'en tient aux technologies vertes qui sont aujourd'hui au cœur des investissements de la transition énergétique. Cela n'est pas tant dû au fait qu'elles concernent une petite part de l'économie, mais aux doutes sur leur capacité à générer des gains de productivité significatifs : directement, en faisant baisser le prix de l'énergie ou de la mobilité ; ou indirectement, en ouvrant la porte à des réorganisations économiques profondes.

Les technologies qui ont marqué l'histoire ont autorisé de telles réorganisations, à l'image de

17. L'économie circulaire privilégie l'éco-conception des biens, leur production sur des sites favorisant les synergies entre industries, leur réparation, leur recyclage… et une économie de la fonctionnalité.

l'électricité, et les partisans de la RIV doivent préciser en quoi les technologies vertes peuvent faire de même. Certes, le système énergétique peut évoluer radicalement avec l'émergence des énergies renouvelables et le développement d'un réseau intelligent ; il peut passer d'une logique centralisée et à une décentralisation complète. Mais en quoi le reste de l'économie serait-il conduit à se réorganiser ? Si on ne veut pas céder au déterminisme technologique, alors force est de constater qu'il n'y a pas de « réorganisation » possible évidente grâce aux technologies vertes.

Pour réaliser les espoirs d'une nouvelle vague de croissance verte, il faut alors compter soit sur des ruptures dans les technologies vertes[18], soit sur des réorganisations économiques vertes et « techno-autonomes ». Si l'expansion du savoir est au cœur des révolutions industrielles (Mokyr, 2002), alors on peut s'attendre à des ruptures technologiques. Parmi elles, citons le développement de nano-batteries, la production de biocarburants par des nouvelles bactéries ou à partir d'algues, le ciment qui capte du CO_2, et toutes celles promises par la biomimétique : pourquoi ne pas produire de l'hydrogène en s'inspirant du processus chimique de photosynthèse dans la nature ? Imiter les éponges marines qui construisent leur squelette de silicium à 4°C ? De telles ruptures sont néanmoins encore hypothétiques. L'économie de la fonctionnalité et plus généralement l'économie circulaire sont quant à elles des réorganisations vertes qui n'impliquent pas nécessairement de nouvelles technologies vertes et portent néanmoins l'espoir d'importants gains de productivité.

Toutefois, nous ne sommes pas à l'abri d'une surprise, technologique ou organisationnelle. Les contemporains des révolutions industrielles précédentes n'étaient pas conscients des transformations en cours et de ce qu'elles apporteraient du point de vue de leur niveau de vie. Le mieux, alors, est de réaliser dès aujourd'hui les transformations technologiques et organisationnelles vertes possibles pour éviter la dégradation de l'environnement – et ses impacts économiques ou non. Quant à savoir si cela conduira-t-il à une nouvelle vague de croissance, l'histoire tranchera.

La RIV est à l'évidence un récit positif et mobilisateur, mais le concept est aujourd'hui fragile. Il y a matière à douter sur la capacité des technologies vertes à impulser une nouvelle vague de croissance comparable aux révolutions industrielles des XIXe et XIXe siècles, et il faut avoir conscience que les espoirs déçus peuvent conduire à de violents retours en arrière.

18. Pour faire baisser leur coût. Et pourquoi pas pour ouvrir la porte à des éorganisations économiques ?

RÉFÉRENCES

Ayres, R. et B. Warr (2009). *The Economic Growth Engine*. Edward Elgar Publishing Limited.

Bloomberg New Energy Finance (2012). *Global trends in renewable energy investment 2012*. Report for UNEP.

Fraunhofer - Institut für Solare Energiesysteme (2012). *Levelized cost of electricity renewable energies*. May 2012.

Forbes, R. J. (1958). "Power to 1850", in *A History of technology: the industrial révolution 1750-1850*. Oxford University Press.

GEA (2012). *Global Energy Assessment: Towards a Sustainable Future*. Cambridge university press.

Jacobs, M (2012). "Green Growth: Economic Theory and Political Discourse". Center for Climate Change Economics and Policy, Working Paper 108 - Grantham Research Institute on Climate Change and the environment, Working Paper 92.

Lovins, A., Lovins, H. and Hawken, P. (2000). *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution*.

Merceron, S et M. Theulière (2010). « Les dépenses d'énergie des ménages depuis 20 ans ». Publication INSEE.

Mokyr, J. (2002). *The Gifts of Athena: Historical Origins of the Knowledge Economy*. Princeton, Princeton University Press.

Pearson, P. et T. Foxon (2012). "A Low Carbon Industrial Revolution? Insights and Challenges from Past Technological and Economic Transformations". *Energy Policy* 50.

Perez, C. (2002). *Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*. Edward Elgar, UK.

Rifkin, J. (2012). *La Troisième Révolution industrielle*. Éditions Les liens qui libèrent.

Robins, Nick *et al.* (2009). *A climate for recovery. The colour of stimulus goes green*. Report for HSBC Global research.

Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change - The Stern Review*. Cabinet Office - HM Treasury

Stern, N. (2012). "How We Can Respond and Prosper: The New Energy Industrial Revolution". Lionel Robbins Memorial Lecture Series.

NB : Pour les référence de Nicholas Stern à la nouvelle révolution industrielle, voir aussi : Stern, N. et J. Rydge (2012). "The New Energy-Industrial Revolution and an International Agreement on Climate Change. Economics of Energy and Environmental Policy, *Volume 1: 1-19.*

TEEB (2010). *L'Économie des écosystèmes et de la biodiversité : intégration de l'Économie de la nature*.

Verley, P. (1997). *L'échelle du monde. Essai sur l'industrialisation occidentale*. Paris, Gallimard, Collection Idées (seconde édition augmentée, Gallimard, collection Tel, 2013).

Wrigley, E. A. (1988). *Continuity, chance and change, The characters of the industrial revolution in England*. Cambridge, New York, New Rochelle, Melbourne, Sydney, Cambridge University Press.

Zysman, J. et M. Huberty (2012). "From religion to reality: energy systems transformation and sustainable prosperity". Working Paper 192. Berkeley Roundtable on the International Economy

Les espoirs de la révolution industrielle verte : une perspective historique

Damien Demailly (Iddri),
Patrick Verley (Université de Genève)

PUBLICATIONS DE L'IDDRI

- Spencer, T., Stevenson, J. (2013). "EU Low-Carbon Investment and New Financial Sector Regulation: What Impacts and What Policy Response?", IDDRI, *Working Papers* N°05/13.
- Poppe, M. et al. (2013). "Is something wrong with the green economy?", IDDRI, *Working Papers* N°02/13.
- Guérin, E. (2013). "Sovereign Wealth Funds: opportunity or threat for the green economy?", IDDRI, *Working Papers* N°01/13.
- Spencer, T., Chancel, L., Guérin, E. (2012). "Green investments in a European Growth Package", IDDRI, *Working Papers* N°11/12.
- Spencer, T., Chancel, L., Guérin, E. (2012). "Exiting the crisis in the right direction: A sustainable and shared prosperity plan for Europe", IDDRI, *Working Papers* N°09/12.
- * Voituriez, T., Balmer, B. (2012). "The Muddle over green race", IDDRI, *Studies* N°01/12.

Publications disponibles en ligne sur : www.iddri.org

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.

L'Iddri porte une attention toute particulière au développement de réseaux et de partenariats avec les pays émergents et les pays les plus exposés aux risques, de façon à mieux appréhender et partager différentes visions du développement durable et de la gouvernance. Afin de mener à bien son action, l'Iddri s'insère dans un réseau de partenaires issus des secteurs privé, académique, associatif ou public, en France, en Europe et dans le monde.

Institut indépendant, l'Iddri mobilise les moyens et les compétences pour diffuser les idées et les recherches scientifiques les plus pertinentes en amont des négociations et des décisions.

Ses travaux sont structurés transversalement autour de cinq programmes thématiques : gouvernance, climat, biodiversité, fabrique urbaine et agriculture. L'Iddri publie trois collections propres : les *Working Papers* permettent de diffuser dans des délais brefs des textes sous la responsabilité de leurs auteurs ; les *Policy Briefs* font le point sur des questions scientifiques ou en discussion dans les forums internationaux et dressent un état des controverses ; enfin, les *Studies* s'attachent à approfondir une problématique. L'Iddri développe en outre des partenariats scientifiques et éditoriaux, notamment dans le cadre de la publication de *Regards sur la Terre*, fruit d'une collaboration avec l'Agence française de développement, The Energy and Resources Institute et Armand Colin.

Pour en savoir plus sur les activités et les publications de l'Iddri, visitez www.iddri.org

IDDRI
SciencesPo.

www.iddri.org