Interreg Sudoe
TR@NSENER
European Regional Development Fund

UN APERÇU DE L'INNOVATION DANS LE SECTEUR DE L'ÉNERGIE POUR LA RÉGION SUDOE

LE PROJET EST COFINANCÉ PAR LE PROGRAMME INTERREG SUDOE PAR LE BIAIS DU FOND EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL (FEDER)

Funseam
Fundación para la Sostenibilidad Energética y Ambiental

www.transener.eu

TABLE DES MATIÈRES

1. PRÉSENTATION 5

JOAN BATALLA (FUNSEAM et Universitat de Barcelona) 6

JOSÉ GARCÍA-QUEVEDO (Universitat de Barcelona) 6

2. RÉSUMÉS 10

3. INNOVATION ET TRANSITION ENERGÉTIQUE 15

LE CAS DE L'ESPAGNE, María Luisa Castaño, (CIEMAT- Centre de Recherche sur l'Énergie, l'Environnement et la Technologie) 16

LE CAS DE LA FRANCE, Gilles Charier (DERBI Competitiveness Cluster) 21

4. SITUATION ACTUELLE DE L'INNOVATION DANS LE SECTEUR DE L'ÉLECTRICITÉ .. 22

APERÇU DE LA SITUATION EN ESPAGNE, Jose García-Quevedo (Universitat de Barcelona) 23

APERÇU DE LA SITUATION AU PORTUGAL. L'ÉLECTRICITÉ AU PORTUGAL: UN LÉGER CHANGEMENT DE PARADIGME, Rui Cartaxo (Universidade de Lisboa) 34

APERÇU DE LA SITUATION EN FRANCE, Cecilia Hinojosa (Université Toulouse III - Paul Sabatier) et Thierry Talbert (PROMES - CNRS - Université de Perpignan Via Domitia) 46

5. DEUX APPROCHES EN MATIÈRE D'INNOVATION 55

INNOVATION SOUS L'ANGLE TECHNOLOGIQUE, José F. Sanz (Universidad de Zaragoza) 56

L'INNOVATION DANS LA NOUVELLE ÉCONOMIE. EXIGENCES POUR UN SYSTEME D'INNOVATION SOLIDE, Manuel Doblaré (Universidad de Zaragoza) 83

6. L'INNOVATION DANS LA SOCIÉTÉ ACTUELLE 103

L'ACCEPTATION SOCIALE DE L'INNOVATION, Aleix Pons et Javier Anatole Pallás (COTEC) 104

LE RÔLE DE L'INNOVATION VU SOUS L'ANGLE DE L'ÉGALITÉ ENTRE LES FEMMES ET LES HOMMES, Mercedes Teruel (Universitat Rovira i Virgili) 118

7. CV RÉSUMÉS 131

1. PRÉSENTATION

JOAN BATALLA
(FUNSEAM et Universitat de Barcelona)
JOSÉ GARCÍA-QUEVEDO
(Universitat de Barcelona)

L'un des plus grands défis auxquels notre société est confrontée est sans conteste le changement climatique. C'est un problème qui se pose à l'échelle de la planète et qui requiert une réponse décisive et urgente, en particulier si l'on tient compte de l'augmentation continue de la température de la surface de la Terre due à l'évolution des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'origine anthropique, ainsi que des impacts sociaux, économiques et environnementaux de plus en plus graves et irréversibles.

La principale raison expliquant l'augmentation des émissions de GES dans l'atmosphère est l'utilisation de combustibles fossiles. On peut donc affirmer que le secteur de l'énergie est le grand responsable des émissions de GES et qu'il est appelé à jouer un rôle fondamental dans la recherche de solutions à cet immense défi auquel l'humanité est actuellement confrontée.

Signé en décembre 2015, l'Accord de Paris a marqué la fin de plus de deux décennies de négociations mondiales et a ouvert la voie à une nouvelle approche répondant à l'enjeu du changement climatique via la transformation de la manière dont la société produit et consomme. Cet instrument est le premier accord international contraignant en vertu duquel tous les pays, et pas seulement ceux du monde industrialisé, se sont engagés à faire en sorte que le réchauffement planétaire soit limité à moins de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels voire, si possible, à moins de 1,5°C. Limiter le réchauffement de la planète à moins de 2°C est une lourde tâche, en particulier dans le secteur de l'énergie, qui génère actuellement environ deux tiers des émissions de gaz à effet de serre.

En tant que société, nous devons évoluer vers un nouveau modèle énergétique qui se caractérise par son faible niveau d'émissions, tout en garantissant la stabilité de l'approvisionnement et la compétitivité économique. Transformer notre propre modèle énergétique n'est pas une mince affaire. Il existe de grandes incertitudes autour de ce processus de changement, il est donc nécessaire de définir des politiques claires et résilientes capables de répondre à un environnement en constante évolution.

La décarbonisation complète du secteur de l'énergie est un défi majeur et nécessite, au minimum, développement technologique et mobilisation d'investissements significatifs. L'idée d'un monde dans lequel l'énergie ne produit pas d'émissions, principale cause du changement climatique et en particulier le CO_2, semble encore très lointaine. À l'heure actuelle, un système de production d'électricité à zéro émission

paraît peu probable. Même avec les solutions renouvelables économiquement viables et adaptables à grande échelle, qui sont actuellement disponibles pour environ deux tiers de l'approvisionnement énergétique mondial, d'autres aspects tels que la croissance de la population et la demande croissante en énergie risquent d'entraver l'objectif de décarboniser l'énergie s'il n'y a pas d'investissements urgents en recherche et développement (R&D).

Par conséquent, la transition énergétique ne peut se faire sans un vaste effort d'innovation. Le secteur de l'énergie nécessite des technologies nouvelles et plus propres déjà disponibles. Elles doivent simplement être moins chères et plus compétitives sur les marchés. Un système intelligent et durable permettant la création de nouveaux modèles d'entreprises innovantes est ainsi fondamental. Et c'est précisément dans ce domaine que la présente étude, développée dans le cadre du projet européen d'innovation Tr@nsener , cherche à proposer son point de vue sur la haute innovation.

Le projet Tr@nsener (Réseau européen de coopération sur la transition énergétique en électricité), cofinancé par le programme Interreg Sudoe par le biais du Fonds européen de développement régional (FEDER), a été mis en place dans le but de promouvoir les capacités d'innovation au sein de la zone géographique SUDOE (qui couvre le sud de la France, l'Espagne et le Portugal), afin de garantir une croissance intelligente et durable et d'encourager la recherche et le développement technologique.

Diverses institutions de premier plan ont participé à ce projet: l'Université Toulouse III -Paul Sabatier, la Fondation pour l'énergie et la durabilité de l'environnement (FUNSEAM), l'Université de Lisbonne, le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), la Fondation CIRCE, l'Université de Beira Interior, l'Université Polytechnique de Madrid (UPM) et la Corporation technologique d'Andalousie (CTA). Pendant sa durée de trois ans, des actions diverses et variées ont été entreprises dans le but de parvenir à un système amélioré pour l'innovation.

La présente étude est le résultat de ce projet et, avec les conseils des plus grands experts dans le domaine de l'innovation, et sous la coordination de FUNSEAM, il propose un aperçu des solutions de pointe et des recommandations pour améliorer la situation actuelle de la R&D+I, un outil qui générera sans l'ombre d'un doute de la prospérité et de la croissance économique pour les entreprises, les secteurs et les pays.

Aborder les principaux problèmes de la société actuelle, tels que le changement climatique, les transports durables et les énergies renouvelables, ne signifie pas seulement accroître le financement durable et réorienter les flux de capitaux et les investissements ; il est aussi fondamental de renforcer l'engagement en faveur de la recherche et de l'innovation en vue de trouver des solutions à faible émission de carbone économiquement viables et compétitives. Tous les efforts de R&D doivent

être axés sur la recherche de solutions neutres en carbone transformatrices dans des domaines tels que l'électrification (énergies renouvelables, réseaux intelligents et batteries), l'hydrogène et les piles à combustible, le stockage de l'énergie, la transformation des secteurs à forte intensité énergétique, l'économie circulaire et la bioéconomie, pour n'en citer que quelques-uns. Il ne fait aucun doute qu'il existe de nombreux domaines dans lesquels il est nécessaire d'agir de manière sociale, étant donné le caractère complexe et pluriel de l'innovation. L'un des éléments déterminants concernant l'adoption de solutions innovantes est le facteur humain. En effet, il est fondamental de prendre en compte des aspects tels que l'acceptation sociale de l'innovation ou l'importance du genre dans la prise de décision. Il est donc évident que nous devons aller au-delà des questions strictement technologiques.

C'est dans cet esprit que cette recherche a été conçue. Elle explore des questions allant au-delà d'un recueil exhaustif et détaillé de domaines technologiques pour la recherche de solutions novatrices au défi de la transformation de notre secteur énergétique. L'espoir de ce travail est qu'il apporte des éléments de réflexion sur la situation actuelle et d'éventuelles recommandations d'amélioration.

En commençant par analyser le rôle de l'innovation et des investissements en R&D et de leur capacité à apporter des avancées majeures permettant de relever le défi de la transition énergétique et de garantir ainsi l'accès à une énergie abordable, sûre et durable dans un contexte de demande énergétique croissante, *María Luisa Castaño*, explique sa vision de la situation espagnole. Elle présente les enjeux associés à l'intégration de ces nouvelles technologies et surtout l'impact qu'elles auront sur la structure de l'entreprise toute entière et appelle à de nouvelles stratégies pour définir et mettre en œuvre des politiques en matière d'innovation. Par ailleurs, *Gilles Charier*, offre un aperçu de la situation de l'innovation en France.

La deuxième partie tente de mettre en évidence la pertinence de l'innovation énergétique pour le secteur de l'électricité dans le cas des régions de la zone SUDOE en se fondant sur les données principales concernant la R&D et les innovations en matière d'énergie, ainsi que les principaux acteurs, à savoir les entreprises, qui sont les agents clés du processus d'innovation. Les contributions de *Jose García Quevedo*, pour l'Espagne, de *Rui Cartaxo*, pour le Portugal, et de *Thierry Talbert* et *Cecilia Hinojosa* pour la France, donnent une vue d'ensemble de la situation de l'innovation dans leurs zones géographiques respectives, en cherchant à identifier les facteurs déterminants de l'innovation au sein des entreprises et des effets que peuvent avoir les stratégies de R&D et d'innovation des entreprises du secteur de l'énergie.

Après cette analyse de la situation actuelle de l'innovation, les autres contributions explorent des sujets qui sont plus spécifiques mais tout aussi importants, ce qui donne deux points de vue sur l'innovation. Du point de vue technologique, la contribution de *José Francisco Sanz* est axée sur les réseaux d'électricité, attendu leur rôle dans la transition énergétique. Il explique pourquoi les efforts d'innovation devraient se

concentrer sur l'intégration de niveaux élevés d'énergie renouvelable variable dans les systèmes d'énergie. L'augmentation de la quantité d'électricité produite à partir de sources renouvelables nécessite des options garantissant une certaine flexibilité grâce au renforcement du réseau, à la gestion de la demande, au stockage de l'énergie et au regroupement d'autres secteurs (électrification accrue dans le secteur des transports et des systèmes de chauffage et de refroidissement). Du point de vue économique, *Manuel Doblaré* se penche sur l'analyse des principales exigences d'un système d'innovation fort, en identifiant les forces et les faiblesses des systèmes d'innovation en France, au Portugal et en Espagne, et en les comparant entre eux et avec d'autres pays aux caractéristiques similaires. Cette partie se termine par quelques propositions de mesures d'amélioration qui permettraient aux pays de surmonter leurs principales faiblesses. Enfin, *Aleix Pons* et *Javier Anatole* mettent l'accent sur le rôle du facteur humain et de l'acceptation sociale de l'innovation. Si l'un des éléments décisifs de l'existence, de l'impulsion ou de l'adoption d'une solution innovante repose sur ce facteur humain, il est nécessaire de rapprocher la perception sociale de l'innovation en général et l'impact que l'innovation pourrait, aux yeux de la société, avoir sur le marché du travail en particulier. Pour conclure cette partie, *Mercedes Teruel* propose une analyse transversale sur la question du genre et la manière dont une plus grande présence des femmes dans les mondes scientifique et technologique entraîne une amélioration de l'excellence scientifique et du développement économique.

Nous ne voudrions pas terminer cette introduction sans avoir remercié tous les auteurs pour les précieuses contributions qu'ils ont apportées, les connaissances qu'ils ont partagées et les pistes de réflexion qu'ils ont proposées sur une question aussi pertinente que l'innovation. Nous souhaitons également remercier tous les chercheurs, universitaires et responsables du secteur de l'énergie, ainsi que toutes les personnes qui ont participé aux démarches de réflexion et d'analyse qui ont eu lieu au cours du projet Tr@nsener et qui ont enrichi les discussions et débats sur d'importants problèmes énergétiques.

Dans les vingt prochaines années, un effort massif en matière de recherche, de coordination et d'innovation sera nécessaire pour que les solutions à émissions faibles ou nulles soient économiquement viables et pour promouvoir de nouvelles solutions qui ne sont pas encore suffisamment matures ou qui sont encore inconnues sur le marché. C'est avec modestie que nous espérons que ce travail apportera sa pierre à l'édifice, en vue de mieux comprendre la situation actuelle et tout facteur clé conditionnant le succès des systèmes d'innovation.

Joan Batalla
José García-Quevedo

2. RÉSUMÉS

INNOVATION ET TRANSITION ENERGÉTIQUE

LES CAS ESPAGNOLS ET FRANÇAIS

On considère que la décarbonisation de l'économie est une excellente opportunité pour le développement économique et la création d'emplois grâce à une orientation adéquate des politiques de R&D+i afin qu'elles facilitent l'adaptation aux évolutions technologiques. C'est également une magnifique occasion de promouvoir un secteur énergétique moderne capable d'attirer les investissements en R&D et favorisant un secteur industriel robuste dans un contexte de transition énergétique mondiale. Dans sa contribution, Castaño analyse le rôle que la R&D+i et la technologie peuvent jouer dans la transformation de secteurs tels que l'énergie, la construction, le transport et l'industrie, et met l'accent sur les stratégies impliquant la science, la technologie et les innovations de nature pluridimensionnelle qui sont liées aux objectifs de transition énergétique.

SITUATION ACTUELLE DE L'INNOVATION DANS LE SECTEUR DE L'ÉLECTRICITÉ

APERÇU DE LA SITUATION À L'ESPAGNE

Tout le monde s'accorde à dire que l'innovation est un facteur fondamental pour faire face aux enjeux liés à l'efficacité, à l'impact environnemental et à la sécurité d'approvisionnement de l'énergie. Cette étude présente un aperçu de la situation de la R&D et de l'innovation dans le secteur énergétique en Espagne. Premièrement, elle présente les principales caractéristiques et les évolutions récentes en matière d'innovation dans les services publics ainsi que les facteurs qui expliquent les décisions d'investissement dans différentes activités innovantes. Deuxièmement, elle présente des données sur les investissements en R&D réalisés par les industries manufacturières dans le secteur de l'énergie et examine les différents facteurs qui les sous-tendent. Enfin, la présente étude propose quelques pistes de réflexion à propos de la nécessité d'augmenter les dépenses en R&D et en innovation dans le domaine de l'énergie, mais aussi de l'importance de la collaboration entre les différents agents, publics et privés, et du rôle significatif que les politiques publiques devraient jouer pour encourager l'innovation énergétique.

APERÇU DE LA SITUATION AU PORTUGAL

Jusqu'en 2000, au Portugal, le transport, la distribution et la commercialisation d'électricité, ainsi que les diverses centrales hydroélectriques et/ou à charbon étaient sous le monopole de l'État. Depuis lors, une séparation s'est produite entre l'opérateur historique, EDP, et l'opérateur du système de transmission nouvellement créé, REN, qui possède le monopole de l'exploitation des réseaux d'électricité et de gaz naturel. Les deux entités ont été privatisées à 100%. Les principaux concurrents d'EDP sont les grands opérateurs espagnols. Une forte émergence des énergies renouvelables, principalement hydraulique et éolienne, a été enregistrée au Portugal, l'opérateur historique EDP jouant un rôle prépondérant dans cette situation. Toutefois, le pays reste à la traîne dans le domaine du solaire. Le Portugal est extrêmement bien situé en matière de mobilité durable, puisqu'il se place au 4ème rang européen pour ce qui est de la pénétration des voitures électriques. Le gouvernement dispose d'un plan de durabilité pour 2021-2030, dont l'objectif est la décarbonisation de l'économie et le développement des énergies renouvelables.

APERÇU DE LA SITUATION EN FRANCE

La stratégie publique française a été mise en place pour relever les nouveaux défis technologiques, environnementaux et sociétaux aux niveaux local, national et européen. La première section de ce chapitre donne une brève description du système de R & D et d'innovation en France, couvrant les principaux systèmes de soutien et les investissements publics dans le secteur de l'énergie. Ensuite, le chapitre passe brièvement en revue les principales stratégies d'innovation développées par les entreprises en ce qui concerne le développement de nouvelles technologies dans le secteur de l'énergie. Enfin, le dernier paragraphe présente les perspectives de recherche et développement futurs en corrélation avec l'évolution du prix de l'électricité choisi par la Commission française de régulation de l'énergie.

DEUX APPROCHES EN MATIÈRE D'INNOVATION

L'INNOVATION SOUS L'ANGLE TECHNOLOGIQUE

L'actuel système d'alimentation électrique (SAE) a été conçu de sorte à ce que l'énergie circule dans une seule direction: des grandes stations génératrices aux consommateurs. Ce système présente d'importantes limites qui, entre autres, restreignent le déploiement de l'énergie renouvelable. L'énergie renouvelable, qui peut être utilisée pratiquement n'importe où, est à l'origine de la production décentralisée (PD), un concept qui, pour être utilisé, requiert une transformation majeure de l'actuel SAE vers ce que l'on appelle le réseau énergétique intelligent. Pour que le réseau énergétique intelligent soit pleinement opérationnel, toute une série d'innovations technologiques est nécessaire: nouveaux matériaux, nouvelles technologies, développements logiciels et communications, jusqu'au déploiement de mini-réseaux. Dans ce chapitre, qui s'ouvre sur la justification de la nécessité de modifier l'actuel SAE, nous présenterons les concepts de PD et de réseau énergétique intelligent, puis examinerons brièvement les évolutions technologiques nécessaires.

L'INNOVATION DANS LA NOUVELLE ÉCONOMIE. EXIGENCES POUR UN SYSTEME D'INNOVATION SOLIDE

Le présent chapitre décrit les principales caractéristiques de la nouvelle économie dans laquelle nous sommes plongés, laquelle se distingue par une croissance exponentielle des progrès technologiques et par une augmentation de la valeur des connaissances et de l'innovation. Il aborde également les dimensions et indicateurs principaux d'un système d'innovation et examine le rôle de ses différents acteurs: l'administration, les entreprises, les centres de recherche et d'innovation et la société dans son ensemble. Il étudie ensuite principales exigences pour qu'un pays dispose d'un système d'innovation solide et identifie les faiblesses et les forces des systèmes français, portugais et espagnol. Enfin, des propositions sont soumises en vue d'améliorer ces systèmes.

L'INNOVATION DANS LA SOCIÉTÉ ACTUELLE

L'ACCEPTATION SOCIALE DE L'INNOVATION

Le présent document de travail synthétise les principales conclusions de deux approches complémentaires réalisées par la Fundación Cotec à propos de la perception sociale au sein de la société espagnole en général des évolutions technologiques et de l'impact que ces mutations auront sur le marché du travail en particulier selon les citoyens. La première approche était la plus grande enquête démoscopique jamais menée en Espagne sur le sujet. La seconde était une expérience pionnière réalisée selon la méthodologie des sciences économiques expérimentales et comportementales.

La société espagnole a une opinion globalement favorable du phénomène de l'innovation, bien que les citoyens soient de plus en plus conscients des enjeux, des risques et des opportunités que les évolutions technologiques entraînent.

LE RÔLE DE L'INNOVATION VU SOUS L'ANGLE DE L'ÉGALITÉ ENTRE LES FEMMES ET LES HOMMES

L'influence que peut avoir la diversité des genres sur l'innovation est un enjeu particulièrement intéressant pour les décideurs politiques et les entreprises. Comprendre les effets de la mixité en termes d'innovation est fondamental pour évaluer l'impact des évolutions. Les différences entre les femmes et les hommes à l'échelle de l'individu et de l'équipe ont une influence sur la prise de décision du groupe et l'innovation qui en découle. Les mécanismes employés sont les décisions d'investissement, la gestion interne et la gouvernance corporative. À l'échelon de l'entreprise, il a été démontré que la mixité au sein des équipes peut avoir des impacts négatifs, mais aussi positifs. Sur le plan territorial, il apparaît que les pays les plus innovants sont aussi les plus égalitaires. Le succès de politiques et de mesures adoptées au sein d'une entreprise dépend d'un grand nombre de décisions comme le processus de recrutement, la promotion interne, la formation interne et les politiques d'innovation, entre autres.

3. INNOVATION ET TRANSITION ENERGÉTIQUE

LE CAS DE L'ESPAGNE, María Luisa Castaño, (CIEMAT-Centre de Recherche sur l'Énergie, l'Environnement et la Technologie)

Contexte

Le développement de la société moderne et son industrialisation, lesquels ont toujours été dépendants de l'utilisation de grandes quantités de combustibles fossiles, ont provoqué une augmentation des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère terrestre. Cela a eu pour principale conséquence de faire augmenter la température de la planète. Afin de rompre le lien existant entre le développement économique, la consommation d'énergie et les émissions de GES, il est fondamental de changer le paradigme de l'énergie et de le réorienter vers un modèle de production et d'utilisation de l'énergie à faible émission de carbone, qui ralentirait et inverserait le réchauffement de la planète, tout en garantissant une croissance économique durable à long terme. L'existence de deux accords historiques (le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et l'accord de Paris sur le changement climatique) jettent les bases de cette évolution qui est de plus en plus intégrée dans l'agenda politique et social de la majorité des pays du monde.

À la suite de l'accord de Paris, la Commission européenne a mis en place le paquet législatif «Une énergie propre pour tous les Européens», dont la vocation est d'atteindre les objectifs climatiques européens en 2030 selon lesquels les pays s'engagent à diminuer les niveaux d'émissions nocives de 40% par rapport aux niveaux de 1990, à augmenter la part des énergies renouvelables de plus de 32% d'ici 2030 et à améliorer l'efficacité énergétique de 30%. En outre, il prévoit que les États membres sont tenus d'élaborer des plans nationaux sur l'énergie et le climat d'ici à 2030 et de les intégrer dans leur législation nationale.

Participant à ce processus, l'Espagne a récemment développé sa proposition de Cadre stratégique pour l'énergie et le climat, qui comprend la Loi sur la transition énergétique et le changement climatique, le Plan national pour l'énergie et le climat (PNEC) et la Stratégie Énergie et pauvreté. Le PNEC pose des objectifs ambitieux: il prévoit de réduire de 21% des émissions de gaz à effet de serre par rapport aux niveaux de 1990; il fixe à 42% la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique totale du pays d'ici 2030 (et dans le cas de la production d'électricité, 74%) ; et prévoit une amélioration de 39,6% de l'efficacité énergétique.

Pour atteindre ces objectifs, cinq zones sensibles ont été identifiés: la décarbonisation, la sécurité énergétique, le marché intérieur de l'énergie, l'efficacité énergétique et enfin la recherche, l'innovation et la compétitivité. L'intégration du dernier point

illustre bien l'engagement ferme du pays vis-à-vis de la recherche et de l'innovation afin de répondre aux enjeux techniques, non seulement en ce qui concerne l'utilisation des énergies renouvelables, mais également pour la transformation radicale de l'énergie.

On considère que la décarbonisation de l'économie est la principale opportunité en termes de développement économique et de création d'emplois, grâce à l'application adéquate de politiques de R&D+i facilitant l'adaptation aux changements technologiques. C'est également l'occasion de promouvoir un secteur énergétique moderne, capable d'attirer les investissements en R&D et de promouvoir un secteur industriel robuste dans le contexte de la transition énergétique mondiale.

R&D et technologie

Au cours des dernières années, le secteur des énergies propres s'est caractérisé par son énorme potentiel de dynamisme. Grâce à la recherche et à l'innovation, il a enregistré une baisse sans précédent des coûts, avec plus de puissance installée par an que jamais et la naissance d'entreprises innovantes qui ont fait évoluer les moyens de production et d'utilisation de cette énergie.

La transition énergétique vers une économie décarbonisée a évolué rapidement dans le secteur de l'électricité où il est facile de voir que les plus grandes possibilités de recherche et d'innovation seront axées sur le développement de nouvelles technologies énergétiques, l'augmentation de l'autoconsommation et le développement de systèmes de stockage au sens le plus large possible. Avec l'objectif ambitieux d'utilisation des énergies renouvelables que l'Espagne (42% du total) s'est fixé, le stockage est un aspect stratégique pour le développement de la transition énergétique et la planification des futurs systèmes d'énergie. Les systèmes de stockage permettent de garantir un équilibre entre la production et la consommation, de gérer plus efficacement les réseaux de transmission et de transport, de mieux contrôler la demande et d'améliorer les réseaux intelligents. Quant à l'avenir, l'hydrogène est de plus en plus mis en avant en tant que vecteur d'énergie et de stockage. La possibilité de produire de l'hydrogène de manière compétitive en utilisant les énergies renouvelables excédentaires ou en utilisant des bioproduits reformés à partir de déchets traités est une opportunité qui n'a pas encore été envisagée.

D'autre part, il reste à étudier la décarbonisation de secteurs tels que la construction, le transport et l'industrie, où des tentatives de transition ont à peine été amorcées. Dans ces domaines, les besoins en énergie pour le chauffage et le refroidissement, qui représentent environ la moitié de la consommation énergétique mondiale, sont encore comblés par des combustibles fossiles. Il existe donc une opportunité évidente d'utiliser des sources d'énergie renouvelable pour la production de chaleur et de froid

(en utilisant la biomasse, l'énergie solaire ou l'énergie géothermique) afin de répondre aux besoins croissants en énergie en milieu urbain.

De même, la transformation énergétique industrielle est un autre secteur dans lequel la recherche et l'innovation sont fondamentales attendu qu'il existe des procédés industriels requérant une chaleur élevée, de la vapeur et du froid industriel; des besoins qu'il sera difficile de satisfaire via la génération d'électricité. Il est évident qu'il sera nécessaire d'approfondir nos connaissances pour développer, appliquer et valider des solutions permettant à l'industrie de s'adapter aux enjeux d'une société décarbonisée.

Dans le cas des transports, même si l'électrification progresse régulièrement, ce secteur repose toujours sur l'utilisation de dérivés du pétrole, avec 2,8% seulement de la demande couverte par les biocarburants et 1,3% par l'électricité. Il est vrai que les véhicules électriques sont appelés à jouer un rôle déterminant en termes de mobilité, et particulièrement en milieu urbain. Toutefois, l'utilisation de biocarburants avancés constitue une alternative très séduisante, et surtout ceux qui sont obtenus de manière durable à partir de matières premières renouvelables (technologies à base de biométhane ou d'hydrogène).

À l'évidence, la transversalité de l'efficacité énergétique, qui touche l'industrie, les transports ou la construction, offre d'excellentes opportunités pour toutes les solutions technologiques, souvent via l'association de différentes énergies propres.

Enfin, l'obligation imposée par l'Union européenne en matière de gestion des déchets a fait de l'utilisation de l'énergie produite par les déchets (qu'ils soient urbains, ruraux, agroalimentaires ou industriels) un enjeu sans précédent. La possibilité d'obtenir du gaz renouvelable en tant que sous-produit du traitement des déchets, qui peut être utilisé directement pour couvrir les besoins en énergie in situ, intégré au réseau de gaz classique ou même stocké et transporté à d'autres fins dans l'ensemble du réseau, laisse entrevoir un vaste éventail d'opportunités pour les entreprises, les marchés, les emplois et les technologies encore inexploités.

Pour conclure, la recherche et l'innovation sont fondamentales pour relever les défis techniques de la transition énergétique, en particulier pour améliorer les domaines technologiques où il existe déjà une concurrence ou une position dominante, ou dans un domaine où le potentiel de bénéfice socio-économique est plus important en raison de la mise en œuvre locale ou de la contribution à la flexibilité et à l'optimisation du système énergétique dans son ensemble.

Le système espagnol de recherche et d'innovation en matière énergétique

En Espagne, ce sont la Stratégie espagnole pour la science, la technologie et l'innovation (EECTI) et le Plan national de recherche scientifique, développement et innovation technologique qui définissent le cadre de la recherche et de l'innovation. La future EECTI pour la période 2021-2027 envisagera la possibilité d'une action stratégique sur l'énergie et le changement climatique, dans le but de couvrir la mise en œuvre de la science et de la technologie. Cette action stratégique visera à promouvoir la recherche, l'innovation et la compétitivité pour la transition énergétique, à promouvoir la décarbonisation complète de l'économie et la mise en œuvre d'un modèle de développement durable. Parmi les entités impliquées dans le développement de cette future action stratégique on trouve des organismes publics tels que le Centre pour l'énergie, l'environnement et la recherche technologique (CIEMAT), qui, en plus d'être le centre de recherche de référence en énergie, peut jouer un rôle déterminant pour la création de réseaux et l'ouverture d'un dialogue entre les parties intéressées, qu'elles soient publiques ou privées.

L'un de ces réseaux est l'Alliance pour la recherche et l'innovation énergétiques (ALINNE), une initiative de collaboration publique-privée, présidée par le CIEMAT et qui assure la coordination des différents agents de la recherche, de l'innovation et de la compétitivité dans le domaine de l'énergie. Cette ressource, opérant en conformité avec la politique scientifique et technologique de l'État, s'inspire des plateformes technologiques énergétiques (des forums de travail en équipe dirigés par l'industrie) qui intègrent tous les aspects du système des sciences, de la technologie et de l'innovation d'un secteur énergétique donné afin de définir la vision du secteur à court, moyen et long terme et de mettre en place une stratégie pour l'atteindre. Le principal résultat d'ALINNE est le document intitulé «Analyse du potentiel de développement des technologies énergétiques en Espagne», qui a permis d'évaluer, de sélectionner et de hiérarchiser 13 technologies énergétiques. Cet exercice unique sera particulièrement utile pour le développement de stratégies de recherche et d'innovation en énergie.

En outre, en collaboration avec les plateformes technologiques énergétique, ALINNE a défini une série d'initiatives technologiques prioritaires (ITP) afin de garantir que certains produits et services arrivent plus facilement sur le marché, rendant ainsi plus rentables les ressources économiques et humaines utilisées pour le développement de technologies. De telles initiatives ont été mises en place dans le secteur industriel, de la construction, de la production d'électricité et des vecteurs de transport et d'énergie.

Enfin, à l'échelon régional, conformément à l'accord d'association conclu entre l'Espagne et l'Union européenne, le cadre national de spécialisation intelligente (RIS3) a été défini. Il prévoit que les communautés autonomes spécifient cette spécialisation

intelligente en fonction de leurs propres stratégies de recherche et d'innovation. C'est dans ce cadre que la Plateforme énergétique-S3, créée par la Commission européenne, prend tout son sens. Elle permet d'aligner la recherche et l'innovation sur les objectifs énergétiques et climatiques, de rapprocher les régions et d'éviter une éventuelle fragmentation.

Les stratégies multidimensionnelles pour la science, la technologie et l'innovation, qui sont liées aux objectifs de transition énergétique, doivent contribuer au processus de transition énergétique et à la coordination efficace de tous les efforts déployés par les parties concernées. Au même titre que la décarbonisation est un défi qui concerne de nombreuses sections, les entités de R&D peuvent se positionner stratégiquement quelque part dans la chaîne d'innovation, favorisant ainsi l'avantage transversal potentiel. Dans ce contexte, il est essentiel de renforcer le mécanisme qui s'appuie sur les infrastructures scientifiques et de recherche existantes, afin d'identifier des opportunités pour l'avenir et de développer de nouvelles capacités. La création d'un environnement favorable au développement de nouvelles initiatives en recherche et innovation devrait encourager la compétitivité fondée sur l'initiative entrepreneuriale et la collaboration entre les entreprises avec le soutien de l'administration publique et encourageant également les investissements privés dans le secteur de l'innovation.

LE CAS DE LA FRANCE, Gilles Charier (DERBI Competitiveness Cluster)

Cette introduction présente brièvement l'actuel système d'innovation et de R&D de la France, ainsi que la position du pays en Europe et plus spécifiquement parmi les pays du Sud-est.

La communauté française de recherche en énergie est réputée dans le monde entier. Elle possède de grandes installations de démonstration et d'intéressants partenariats public-privé pour les technologies énergétiques. Le soutien de la recherche et de l'innovation est l'un des grands axes de la transition énergétique par lequel les pouvoirs publics entendent encourager les secteurs concernés à atteindre le degré nécessaire de maturité et de compétitivité.

Les dépenses publiques françaises de recherche et développement (R&D) en énergie ont atteint 944 millions d'euros en 2016, dont 408 millions d'euros consacrés spécifiquement aux technologies de l'énergie.

Concernant le secteur des réseaux intelligents, depuis 2008 leur déploiement en France est à l'origine de 118 projets de démonstration, pour un investissement total de plus de 500 millions d'euros. À cet égard, la France est en tête des pays de l'Union européenne en investissement, suivie du Royaume-Uni, avec 497 millions d'euros et de l'Allemagne avec 363 millions d'euros.

Depuis 2011, une équipe du Centre commun de recherche (JRC) de la Commission européenne répertorie, documente et analyse tous les projets de démonstration et déploiements des réseaux intelligents en Europe. La base de données résultante fait état de 459 projets s'élevant à un total de 3,15 milliards d'euros, dont 238 projets terminés (1,15 milliards d'euros) et 221 projets en cours (2 milliards d'euros). 1670 organisations dans toute l'Europe ont participé à ces projets, avec une moyenne de six partenaires par projets, répartis dans toute l'Europe, comme indiqué ci-après.

La France et l'Espagne comptabilisent 27% des investissements et 16% des projets. La région SUDOE (Sud-ouest de la France, Espagne et Portugal) est particulièrement bien représentée dans ces projets, avec des initiatives comme Smart Occitania, SoGrid ou Digisol.

C'est dans ce contexte que le projet Tr@nsener a vu le jour. Il vise à encourager les relations et les échanges entre les réseaux scientifiques, technologiques et d'entreprises en vue de développer les innovations et de servir les réseaux d'électricité.

4. SITUATION ACTUELLE DE L'INNOVATION DANS LE SECTEUR DE L'ÉLECTRICITÉ

APERÇU DE LA SITUATION EN ESPAGNE, Jose García-Quevedo (Universitat de Barcelona)

Introduction

L'Union européenne est formelle: l'innovation est un élément fondamental pour la gestion d'une transformation efficace du système énergétique telle que celle qui est proposée dans la stratégie-cadre de l'Union de l'énergie et conformément à l'Accord de Paris (Commission européenne, 2016 ; 2018). D'une part, les progrès technologiques dans le domaine de l'énergie peuvent entraîner de considérables avantages économiques et environnementaux ; d'autre part, l'innovation dans ce secteur est essentielle pour faire face aux défis liés à l'efficacité, à l'impact sur l'environnement et à la sécurité de l'approvisionnement. La transition énergétique nécessite des innovations dans les domaines de la production, du transport, de la distribution et des services proposés aux consommateurs (Commission européenne, 2016). L'innovation dans le secteur de l'énergie a un impact sur une grande partie des activités du secteur telles que la production d'énergie renouvelable, le stockage de l'énergie, les réseaux intelligents ou la fourniture de nouveaux services.

La stratégie espagnole pour la science, la technologie et l'innovation 2013-2020 identifie deux enjeux majeurs: «une énergie sûre, durable et propre» et «l'action contre le changement climatique et l'utilisation efficace des ressources et des matières premières». On retrouve ces deux grands axes dans les objectifs proposés par la Commission européenne en matière de climat et d'énergie pour 2030. Dans les deux cas, les autorités reconnaissent la nécessité d'intensifier les efforts d'investissement en faveur de l'innovation pour faire face aux défis de la transition énergétique et du changement climatique.

En Espagne, le secteur de l'énergie possède un caractère stratégique et occupe une place prépondérante dans la production totale du pays. Toutefois, les efforts déployés en innovation, bien qu'ils soient conséquents en termes absolus, sont bien insuffisants compte tenu de l'envergure et de l'importance du secteur (Molero, 2002). Le centre de recherche Economics for Energy (2013) dénonce par ailleurs qu'en Espagne, l'innovation dans le secteur de l'énergie, laquelle pourrait encourager la création de nouvelles entreprises et activités, et générer de la valeur ajoutée et des emplois, demeure insuffisante dans les technologies énergétiques.

Après cette introduction, le présent document est organisé comme suit: La première partie présente les principales caractéristiques et fournit des données sur la R&D et l'innovation dans le secteur des services publics en Espagne. Ensuite, compte tenu du rôle crucial que jouent les fournisseurs de composants et d'équipements en matière d'innovation dans le secteur de l'énergie, la deuxième partie est consacrée à la R&D

en énergie dans les secteurs manufacturiers et aborde les conclusions d'études existantes à propos de leurs déterminants. Enfin, le document examine les grandes tendances de l'innovation en énergie et propose quelques pistes de réflexion à propos des politiques publiques visant à encourager l'innovation dans le secteur de l'énergie.

R&D et innovation dans le secteur des services publics en Espagne

En Espagne, comme dans d'autres pays, les dépenses en R&D dans le secteur de l'énergie sont faibles par rapport à d'autres secteurs, en dépit de l'importance de ce domaine au sein de l'économie. Dans les années 1990, le début de la libéralisation a entraîné dans la plupart des pays européens une chute des investissements en R&D, même si une légère reprise a été constatée ces dernières années (Jamasb and Pollitt, 2015). Pour analyser le niveau d'investissement des entreprises en R&D des services publics, il convient de tenir compte de la situation existante en matière de concurrence. Pour être concurrentielles, les entreprises doivent adopter une stratégie axée sur l'efficacité des processus afin de réduire les coûts et d'augmenter les marges, mais aussi avoir une valeur de différenciation dans contrats, dans la mesure où l'électricité est (tout comme le gaz) un produit homogène.

Les analyses de la R&D et de l'innovation en énergie se heurtent aux limites des informations et à l'accès aux bases de données (GEA, 2012).

Attendu qu'il n'existe pas d'indicateur unique pour décrire l'innovation, différents indicateurs d'input (comme l'investissement en R&D) et de résultats doivent être employés. De plus, il est difficile de délimiter le secteur. Une grande partie des innovations en matière d'énergie n'a pas lieu, comme nous l'avons indiqué précédemment, dans le domaine de l'énergie (production, transport, distribution et consommation d'énergie), mais dans d'autres secteurs manufacturiers tels que les machines et les équipements électroniques (Molero, 2012 ; García-Quevedo, 2018).

La source d'information principale en Espagne pour analyser la R&D et l'innovation au sein des entreprises est l'enquête intitulée Statistiques sur les activités de R&D et l'Enquête sur l'innovation dans les entreprises élaborées annuellement par l'Institut national de la statistique (INE) selon des critères équivalents sur le plan international, conformément aux manuels de Frascati et d'Oslo de l'OCDE (OCDE 2002 ; 2005). Le Panel espagnol sur l'innovation technologique (PITEC) est également un outil intéressant pour analyser l'innovation en Espagne. Cette base de données créée par l'INE et la Fondation espagnole pour la science et la technologie, de concert avec un groupe d'experts académiques, permet d'assurer le suivi des activités d'innovation technologique au sein des entreprises espagnoles.

Les principales données pour les industries liées pétrole (NACE 19, Coséfaction et raffinage) et les activités liées à l'énergie et à l'eau (NACE 35, distribution d'électricité,

de gaz, de vapeur et d'air conditionné ; et NACE 36, Production et distribution d'eau ; assainissement, gestion des déchets et dépollution) que les statistiques de l'INE regroupe sont présentées avec les données pour toutes les entreprises dans le Tableau 1. De plus, les données fournies par l'INE portant exclusivement sur les activités liées à l'énergie (NACE 36) sont incluses dans le Graphique 1.

Ces secteurs contiennent peu d'entreprises mais de taille conséquente et dont une grande partie innove. Elles effectuent une part importante de leurs activités technologiques via l'acquisition de services de R&D. Dans les deux secteurs, la part des achats externes de R&D par rapport aux dépenses internes est nettement plus importante que dans l'ensemble de l'économie.

TABLEAU 1. R&D ET INNOVATION EN ENERGIE SECTEUR PRIVE. 2016.

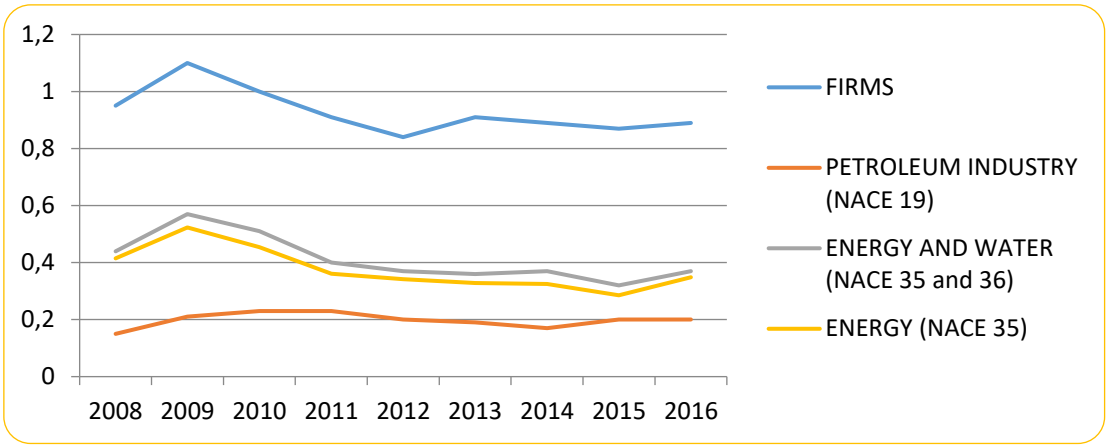
	Industries pétrolières	Énergie et eau	Ensemble entreprises
Entreprises qui font de la R&D	7	86	10 325
Dépenses internes en R&D (milliers d'euros)	61 464	131 206	7 125 973
Employés en R&D (FTE)	414,4	1 237,1	90 129
Achat de services de R&D (milliers d'euros)	20 348	85 627	1 852 538
Entreprises innovantes	5	134	18 475
Pourcentage d'entreprises innovantes	71,43	21,55	12,75
Intensité de l'innovation	0,20	0,37	0,89

Source: Institut national de la statistique (INE) et élaboration personnelle.

L'intensité de l'innovation (dépenses en innovation par rapport au chiffre d'affaires) est également inférieure à la moyenne des entreprises dans les deux secteurs. Comme cela a été souligné précédemment, il s'agit là encore d'une caractéristique commune de ces secteurs dans d'autres pays européens (GEA, 2012). Cette intensité est restée stable dans les industries pétrolières, même pendant la crise, alors qu'elle a baissé dans les secteurs de l'énergie et de l'eau, comme dans l'ensemble des entreprises. Comme le montre le Graphique 1, le comportement des activités du secteur de l'énergie a une influence déterminante dans ces deux secteurs. Les dépenses consacrées à l'innovation dans le secteur de l'énergie représentent plus de 85% du total des dépenses d'innovation dans les activités relevant à la fois de l'énergie et de l'eau.

GRAPHIQUE 1. INTENSITÉ DE L'INNOVATION

(depense en innovation en tant que pourcentage des ventes).

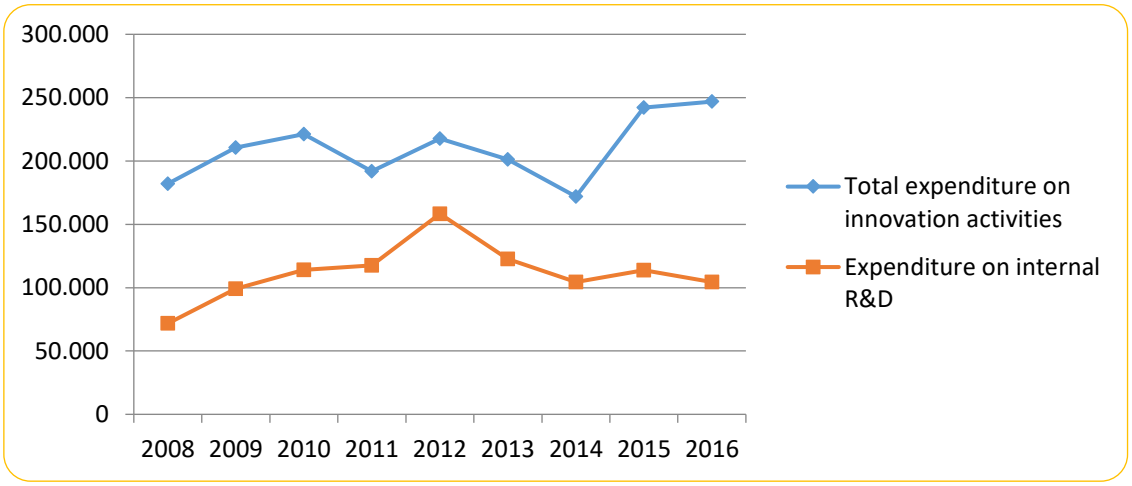


Source: Institut espagnol des statistiques et élaboration personnelle

Après le Graphique 1 qui représente l'intensité de l'innovation, le Graphique 2 montre l'évolution des dépenses totales en R&D et en innovation entre 2008 et 2016 pour les industries de l'énergie (NACE 35) exclusivement, à partir d'informations fournies directement par l'INE. L'évolution des dépenses totales consacrées à l'innovation dans les services publics d'énergie montre les effets de la crise, avec des chutes drastiques en 2011 et en 2014, mais aussi la très nette reprise en 2015 et 2016.

GRAPHIQUE 2. TOTAL DES DEPENSES CORRESPONDANT AUX ACTIVITÉS

de R&D et innovation du secteur «Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné» (NACE 35). Milliers d'euros



Source: Institut espagnol des statistiques (INE) et élaboration personnelle

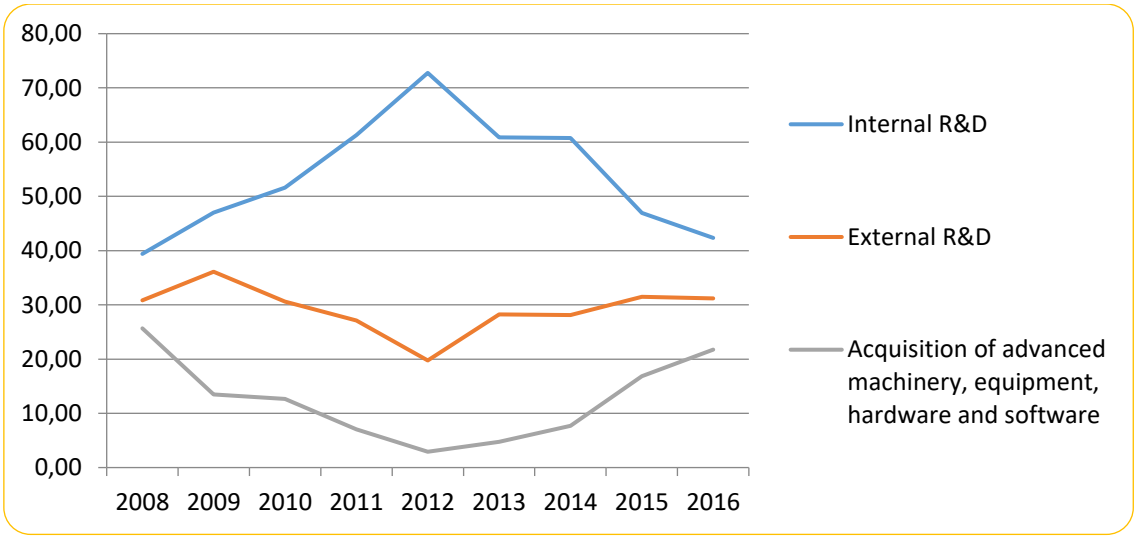
L'investissement en R&D interne est le principal intrant permettant d'augmenter la base de connaissances et d'innover ; toutefois, l'innovation a aussi de nombreuses autres sources. Les entreprises peuvent par exemple acquérir de la R&D externe ou des machines afin d'innover et d'améliorer leur niveau technologique. Le choix de la

stratégie de R&D a fait l'objet de nombreuses études dans la littérature sur l'économie de l'innovation. Le Graphique 3 classe les dépenses en innovation dans les activités de l'énergie (NACE 35) selon les trois composantes principales: R&D interne, R&D externe et acquisition de machines, équipements et matériel ou logiciels de pointe.

Cette répartition montre deux traits importants. Tout d'abord, l'évolution des dépenses totales consacrées à l'innovation est étroitement liée à l'évolution de l'acquisition de machines de pointe, laquelle a fortement diminué pendant la crise, en particulier entre 2011 et 2014. Par ailleurs, le montant des dépenses en R&D en termes absolus est resté plus stable, comme nous l'avons vu dans le Graphique 2. D'autre part, il est intéressant de constater que le poids de l'acquisition de R&D (R&D externe) est resté stable pendant toute cette période, en passant largement au-dessus de celle des entreprises dans en général en Espagne (15,2% en 2016).

GRAPHIQUE 3. REPARTITION DES DEPENSES EN ACTIVITÉS D'INNOVATION

(R&D interne, R&D externe et acquisition de machines, d'équipements, de matériel et de logiciels avancés) du secteur «Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné» (NACE 35). En%.



Source: Institut espagnol des statistiques (INE) et élaboration personnelle

Costa-Campi et al. (2019) analysent les caractéristiques des entreprises du secteur de l'énergie expliquant les décisions d'investissement dans ces trois principales sources d'innovation (R&D interne, R&D externe ou acquisition de machines ou équipements de pointe). Ils ont en premier lieu examiné si des variables telles que la taille, l'âge de l'entreprise, le fait de recevoir un financement public ou la participation de capitaux étrangers influencent la décision d'investir en R&D interne ou externe, ou d'acquérir des machines ou équipements de pointe. En outre, l'analyse tient compte de l'éventuelle persistance d'activités innovantes dans le temps.

Deuxièmement, les entreprises consacrent des ressources à l'innovation pour différentes raisons. Cette étude distingue quatre motifs possibles: l'innovation liée aux

produits (par exemple l'amélioration de la qualité du service, la fourniture de nouveaux services ou la pénétration de nouveaux marchés) ; l'innovation liée aux procédés (l'augmentation de la flexibilité ou de la capacité de production) ; l'innovation dans le but de réduire l'impact environnemental ; et enfin, l'innovation axée sur le respect des réglementations en matière d'environnement ou de santé et sécurité.

Les résultats montrent que l'investissement en innovation est fortement persistant dans le temps. Il en va de même pour la R&D interne et l'acquisition de services externes. En ce qui concerne les objectifs d'innovation, les résultats montrent des différences significatives. La R&D interne et externe des entreprises du secteur de l'énergie est principalement liée à la réduction de l'impact sur l'environnement et au respect de la réglementation, tandis que l'introduction d'innovations de procédés est le principal facteur déterminant l'acquisition de machines et d'équipements plus modernes. Enfin, les résultats montrent qu'il existe une complémentarité notable entre la R&D interne et l'acquisition de services de R&D externes, ce qui illustre bien l'importance d'associer l'utilisation des ressources internes et l'utilisation de sources externes en matière de R&D pour l'innovation des entreprises et l'élargissement des stocks de connaissances.

R&D et innovation en énergie dans les secteurs manufacturiers

Les investissements en énergie dans les secteurs non énergétiques sont un facteur très important à prendre en compte pour étudier les progrès technologiques dans le domaine de l'énergie. Wiesenthal et al. (2012) soulignent l'importante contribution à cet égard des fournisseurs de composants et d'équipements du secteur. De même, Sanyal et Cohen (2009) font valoir que ce sont les fabricants d'équipements destinés à l'énergie qui sont à l'origine de la majorité de la R&D et qui ont généré la plupart des innovations apportées dans le secteur de l'énergie.

Par conséquent, dans l'analyse de l'activité des entreprises en matière de R&D et d'innovation dans le secteur de l'énergie, il est fondamental de prendre en compte les éventuelles dépenses en R&D en énergie dans d'autres secteurs industriels que les services publics, compte tenu en particulier de l'influence considérable que ce secteur a sur d'autres secteurs économiques et innovants.

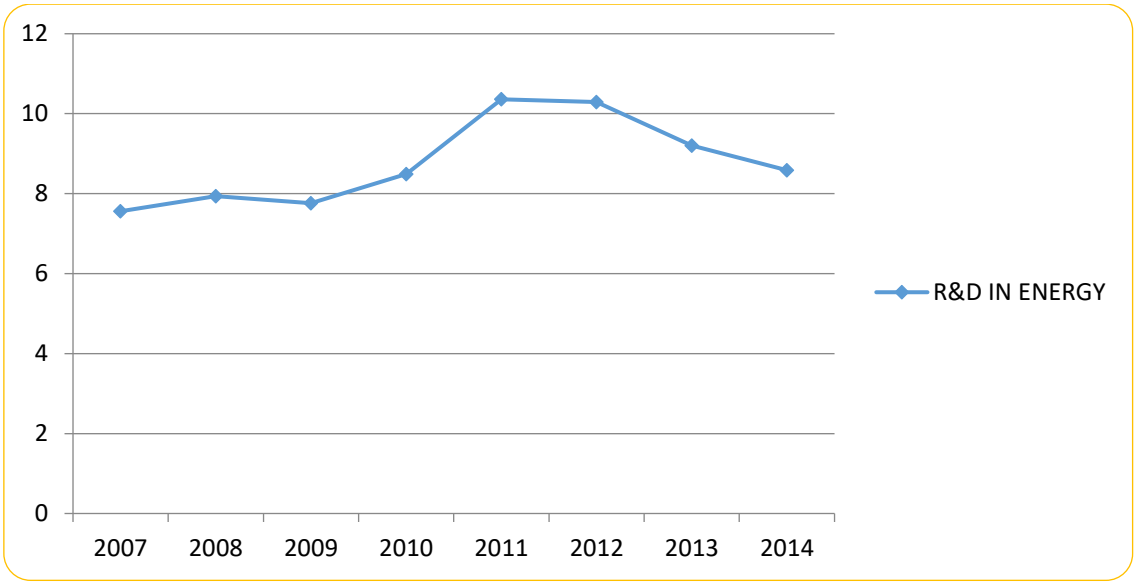
Ces informations figurent rarement dans les enquêtes et les statistiques sur la R&D et l'innovation. Les données de R&D sont en général regroupées par secteurs économiques et non pas par technologies. En Espagne cependant, depuis 2008 les entreprises sont invitées, dans l'Enquête sur l'innovation dans les entreprises (la version espagnole de l'Enquête communautaire sur l'innovation), à diviser leur investissement interne en R&D en fonction de leur objectif socio-économique (OsE) (García- Quevedo, 2018). Cette séparation se fonde sur les critères définis par l'OCDE dans le Manuel de Frascati (OCDE, 2002). L'un de ces objectifs est la production, la

distribution et l'utilisation rationnelle d'énergie. Plus particulièrement, l'OsE 5 couvre: «la recherche destinée à améliorer la production, le stockage, le transport, la distribution et l'utilisation rationnelle de toutes les formes d'énergie.» Il englobe également la recherche relative aux procédés destinés à accroître l'efficience de la production et de la distribution d'énergie, ainsi que les études relatives aux économies d'énergie. Il ne comprend pas la R&D liée à la prospection (OsE 1) ou à la propulsion des véhicules et des moteurs (OsE 7). Cet OsE n'inclut pas non plus la recherche sur le contrôle et la protection de l'environnement, puisque ce domaine correspond à l'OsE 3.

Les données pour tous les secteurs manufacturiers (Graphique 4) montrent l'importance du volume des dépenses en R&D consacrées à l'énergie. Pendant la période 2008-2014 entre 8% et 10% de toutes les dépenses des entreprises en R&D avait pour objectif l'énergie.

GRAPHIQUE 4. DEPENSES EN R&D INTERNE EN ENERGIE

(exprimé en pourcentage du total des dépenses en R&D interne).



Source: Institut espagnol des statistiques (INE) et compilation personnelle

Les informations par secteurs manufacturiers montrent que tous consacrent une partie de leurs dépenses en R&D à l'objectif énergétique, bien que l'on remarque des différences significatives. La production de matériel et d'équipements électriques, d'autres machines et équipements, ainsi que de produits informatiques, électroniques et optiques est particulièrement importante.

Outre le rôle important que jouent les fournisseurs dans le développement de la R&D de l'énergie, d'autres facteurs peuvent également stimuler les investissements en R&D dans des entreprises qui n'appartiennent pas au secteur énergétique. Les entreprises manufacturières peuvent investir en R&D pour améliorer leur niveau d'efficacité énergétique ou pour devenir auto-suffisantes en énergie. Les mesures réglementaires

mettant en œuvre des améliorations en matière d'efficacité énergétique et de réduction des émissions, la sécurité de l'approvisionnement ou la volonté de se préparer aux réglementations énergétiques ou environnementales peuvent expliquer les décisions de R&D en énergie au sein d'entreprises qui n'appartiennent pas directement au secteur de l'énergie et ne sont pas des fournisseurs pour ce secteur.

Costa-Campi et García Quevedo (2019) examinent les raisons de l'investissement en R&D en énergie dans les secteurs manufacturiers. Les résultats montrent l'importance des fournisseurs des entreprises énergétique pour expliquer la R&D dans le secteur de l'énergie. En effet, pour répondre aux enjeux de l'efficacité énergétique, les entreprises préfèrent acheter des machines qu'investir en R&D. Les résultats de l'analyse appliquée montrent également l'importance de l'aide et des subventions publiques en R&D pour encourager l'effort des entreprises en matière de R&D en énergie.

TABLEAU 2. INVESTISSEMENTS EN R&D DES ENTREPRISES AYANT POUR OBJECTIF L'ENERGIE EN ESPAGNE

(en pourcentage du total de la r&d interne de chaque secteur de 2008 a 2014).

Produits alimentaires, boissons et produits à base de tabac (10, 11, 12)	6,46
Textiles, articles d'habillement, cuir et produits connexes (13, 14, 15)	6,80
Bois, papier et imprimerie (16, 17, 18)	8,07
Produits chimiques (20)	8,35
Produits et préparations pharmaceutiques (21)	3,22
Produits en caoutchouc et en matières plastiques (22)	5,60
Autres produits minéraux non métalliques (23)	5,96
Produits métallurgiques de base (24)	7,82
Fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et des équipements (25)	6,54
Ordinateurs, articles électroniques et optiques (26)	11,67
Matériels électriques (27)	21,88
Machines et matériel, n.c.a. (28)	14,51
Véhicules automobiles, remorques et semi-remorques (29)	2,95
Autres matériels de transport (30)	1,46
Meubles (31)	4,18
Autres industries manufacturières (32)	1,23
TOTAL DE L'INDUSTRIE	9,54

Remarque: Les codes (divisions) indiqués entre parenthèses sont issus de la NACE Rév. 2 - Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne.

Source: Élaboration personnelle à partir des données fournies par l'Institut espagnol des statistiques (INE).

Tendances en innovation en énergie et politique publique

Dans l'analyse de l'innovation en énergie, il est nécessaire de prendre en compte le fait que divers agents, aussi bien publics que privés, interviennent. Les plus importants sont les services publics eux-mêmes et les fournisseurs de technologie. En outre, la politique publique peut jouer un rôle déterminant pour encourager les progrès technologiques dans le secteur.

Les analyses qui ont été réalisées sur l'Espagne (Molero, 2012, García-Quevedo, 2018) soulignent que, comme dans d'autres pays, les investissements en R&D par les services publics demeurent trop faibles pour affronter les enjeux du secteur et que l'augmentation nécessaire de l'effort en R&D e l'énergie concerne non seulement les entreprises du secteur énergétique, mais aussi tous les processus de production impliqués dans la chaîne de valeur (Commission européenne, 2018).

La collaboration entre les entreprises du secteur de l'énergie et d'autres organismes publics ou privés pourrait favoriser les progrès technologiques dans le secteur. Les études sur l'innovation évoquent le concept «d'innovation ouverte» qui permettrait aux entreprises d'innover de manière collaborative (Chesbrough, 2006). Avec l'innovation ouverte, plusieurs entreprises partagent les coûts et les risques du processus d'innovation. De plus, cette approche considère que les connaissances au sein d'une entreprise ne sont pas toujours suffisantes pour mettre au point certaines innovations. Ce concept est particulièrement applicable au secteur de l'énergie car les projets d'innovation requièrent généralement de grandes quantités de capitaux, se heurtent à de nombreuses incertitudes et nécessitent des connaissances de plus en plus spécialisées.

Pour atteindre les progrès technologiques dont le secteur a besoin, il semble également souhaitable de renforcer l'intervention publique en vue d'encourager la R&D dans le secteur de l'énergie. Le soutien des autorités publiques est particulièrement crucial pour les projets qui nécessitent de longues périodes de recherche et qui contribuent à des innovations disruptives dont l'objectif central est l'atténuation du changement climatique (Commission européenne, 2018). Ces projets s'inscrivent dans le domaine des applications scientifiques et ne sont pas encore commercialisables. Ils doivent donc être étayés par une politique publique pour leur mise en œuvre, l'encouragement de la R&D collaborative au sein des entreprises du secteur de l'énergie et d'autres secteurs, ainsi que la coopération public-privé (Henderson et Newell, 2010 ; Newell, 2010, Jamasb et Pollit, 2015).

En définitive, comme le soulignent les récentes propositions de la Commission européenne sur le climat et l'énergie, les avancées en matière d'innovation énergétique sont essentielles pour atteindre les objectifs fixés pour 2030. Pour cela,

les politiques en matière d'énergie doivent être renforcées et avoir pour mission centrale de renforcer la R&D et l'innovation (Commission européenne, 2015 ; 2018).

Références

Chesbrough, H., (2006). Open innovation: a new paradigm for understanding industrial innovation In: Chesbrough, H., W. Vanhaverbeke, W., West, J. (Eds.), Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford University Press, Oxford, pp. 1–12.

Costa-Campi, M.T., Duch-Brown, García-Quevedo, J. (2019). Innovation strategies of energy firms. Corporate Social Responsibility and Environmental Management, 2019. https://doi.org/10.1002/csr.1787 (dans la presse).

Costa-Campi, M.T., García-Quevedo, J. (2019). Why do manufacturing industries invest in energy R&D? Economics of Energy & Environmental Policy (à venir).

Economics for Energy, (2013). Innovación en energía en España. Análisis y recomendaciones. Informe 2012. Economics for Energy, Vigo, Espagne.

Commission européenne (2015). Energy Union Package. A Framework Strategy for a Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy Brussels, 25.2.2015 COM(2015) 80 final.

Commission européenne (2016). Accelerating Clean Energy Innovation. Bruxelles 30.11.2016. COM(2016) 763 final.

Commission européenne (2018). A clean planet for all. A European strategic long-term vision for prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. Bruxelles, 28.11.2018. COM(2018) 773 final.

García-Quevedo, J. (2018), "I+D e innovación en energía" en J. L. García Delgado, J. C. Jiménez y J. Batalla (Eds.): Desafíos del sector energético: Un enfoque sectorial. Thomson Reuters.

GEA, (2012). Global Energy Assessment. Towards a sustainable future, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.

Henderson, R. M., Newell, R. G., (2011). Accelerating Energy Innovation: Insights from Multiple Sectors. University of Chicago Press.

Jamasb, T., Pollitt, M., (2015). Why and how to subsidise energy R+D: lessons from the collapse and recovery of energy innovation in the UK. Energy Policy 83, 197–205.

Newell, R. G., (2010). The role of markets and policies in delivering innovation for climate change mitigation. Oxford Review of Economic Policy 26, 253-269.

Molero, J., (2012). La importancia económica de innovar en el sector de la energía. Cuadernos de Energía 34, 77-83.

OCDE (2002). Frascati Manual: Proposed standard practice for surveys on research and experimental development. OCDE, Paris.

OCDE (2005). Oslo Manual. The measurement of scientific and technological activities. Proposed guidelines for collecting and interpreting technological innovation data. 3ème édition. Éditions OCDE.

Sanyal, P., Cohen, L. R., 2009. Powering Progress: Restructuring, Competition, and R&D in the U.S. Electric Utility Industry. The Energy Journal 30, 41-79.

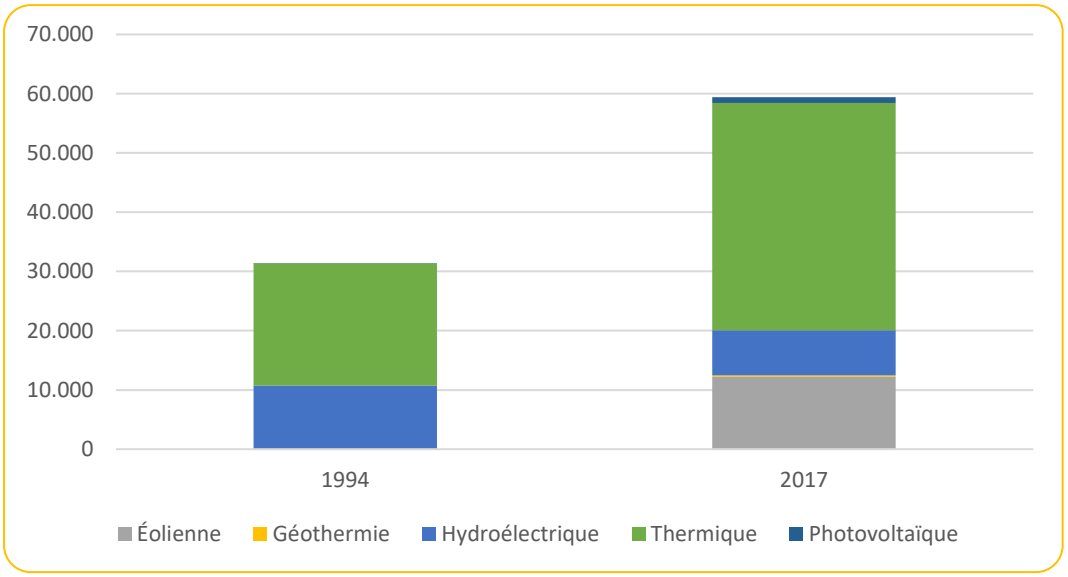
Wiesenthal, T., Leduc, G., Haegeman, K., Schwarz, H.-G., (2012). Bottom-Up estimation of industrial and public R&D investment by technology in support of policy-making: the case of selected low-carbon energy technologies. Research Policy 41, 116–131.

APERÇU DE LA SITUATION AU PORTUGAL. L'ÉLECTRICITÉ AU PORTUGAL: UN LÉGER CHANGEMENT DE PARADIGME, Rui Cartaxo (Universidade de Lisboa)

Production et consommation d'électricité au Portugal

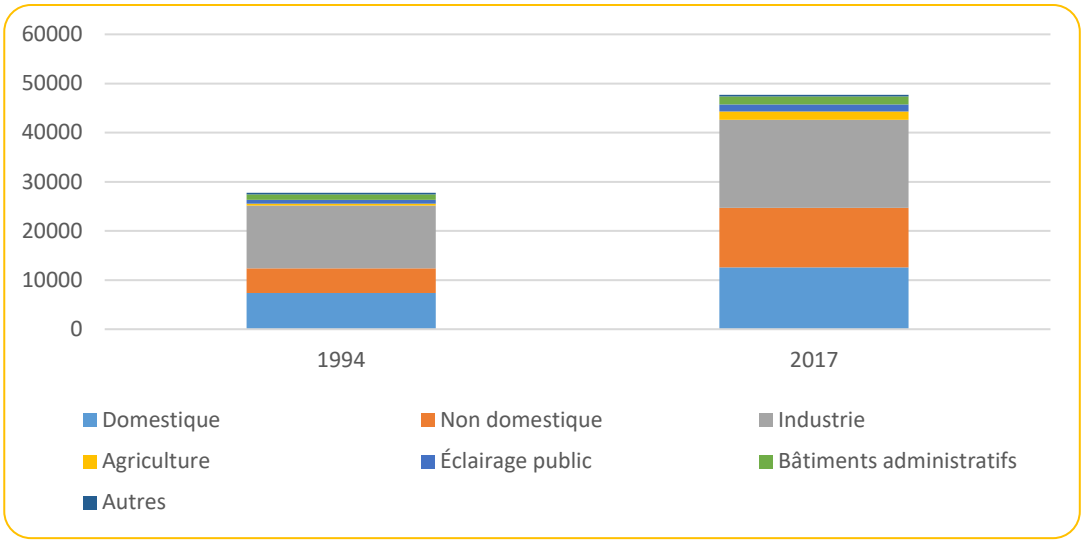
Les données les plus récentes [1] sur les sources d'énergie montrent qu'en 1994, il y a 25 ans, la production d'électricité au Portugal atteignait 31 TWh (Graphique 1) pour une consommation de 28 TWh (Graphique 2). Un quart de siècle plus tard, la production est passée à 59 TWh, tandis que la consommation a atteint 48 TWh en 2017. La production d'énergie électrique reposait sur deux sources en 1994: l'hydroélectricité, qui représentait un tiers ou moins du total, et l'énergie thermique, pour deux tiers (Graphique 1). Malgré la variation considérable d'année en année, la tendance actuelle se caractérise par une baisse de l'hydroélectricité, qui s'élevait à peine à 13% en 2017, et par une diminution plus modérée des sources d'énergie thermique, qui est passée pour la première fois sous la barre des 50% en 2014 (44%). Dans le même temps, la part des sources d'énergie renouvelables progresse lentement mais sûrement: elle avoisinait les 10% en 2007. Depuis 2012, la part de l'énergie éolienne est supérieure à 20% et le photovoltaïque (PV) a atteint près de 2% du total en 2017.

GRAPHIQUE 1. PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ, PAR SOURCE [GWh]



Source: www.pordata.pt

GRAPHIQUE 2. CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ, PAR SECTEUR [GWH]



Source: www.pordata.pt

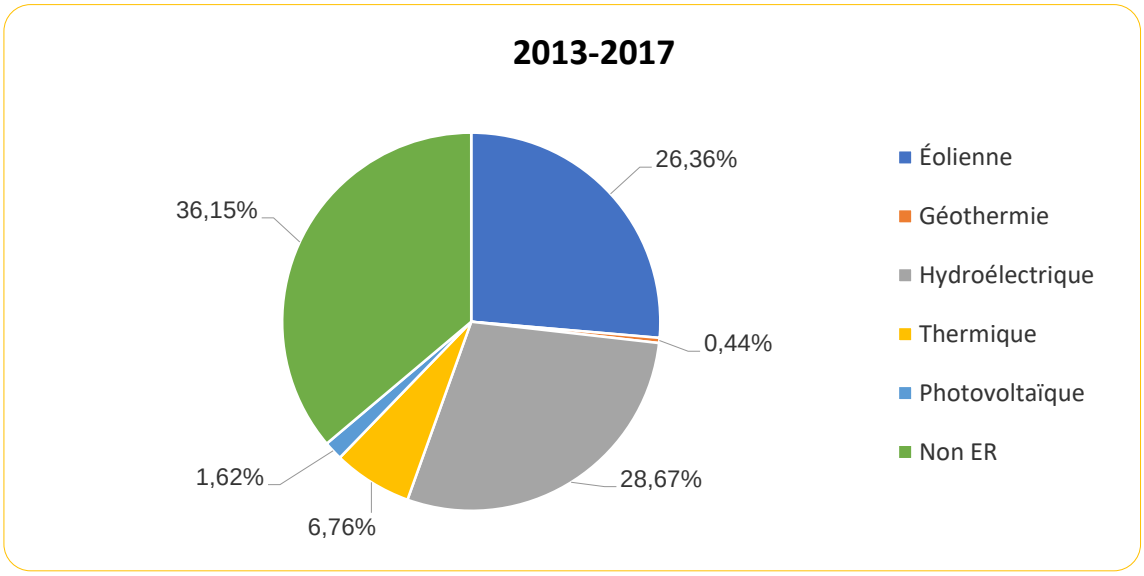
Les statistiques les plus récentes fournies par L'Institut national portugais des statistiques (INE) [2] indiquent qu'au cours des 5 dernières années, la part de l'énergie éolienne a toujours dépassé 25%, et même 26% en 2017 ; l'énergie photovoltaïque atteint plus de 2% et la part de l'ensemble des sources d'énergie renouvelable s'élève pratiquement toutes ces dernières années à près de 70% de la consommation finale d'énergie électrique (Graphique 3). Les variations importantes de la contribution de la filière hydroélectrique et thermique s'expliquent par le volume des précipitations annuelles, ce qui rend ce secteur très imprévisible, et susceptible de compromettre l'engagement européen en matière d'énergies renouvelables (ER) selon lequel les ER devraient constituer 60% (en moyenne pondérée sur les 15 dernières années) de l'ensemble de la consommation électrique en 2020 [3]. Les sources d'ER ont fait l'objet d'incitations significatives de la part du gouvernement, notamment en 2007 [4].

Selon l'ancien président de l'organisme national de réglementation du secteur de l'énergie (ERSE), la capacité éolienne était à la fin de l'année 2017 de 5090 MW (contre 247 MW en 2003), soit 26% de la production électrique globale du continent, qui s'élevait à 19 800 MW, et 26% également de la consommation finale d'électricité au cours de la même année (Graphique 3). Ces chiffres étaient largement supérieurs à la moyenne de l'UE qui se situait à 14% et à 9% respectivement en 2015 (Vasconcelos, 2019). Selon le même auteur, d'autre part, la capacité solaire était de 852 MW, 4,3% du total, contre 9,7% dans l'UE en 2015. En effet, en 2015, la production électrique solaire au Portugal (1,7%) (Graphique 3) était inférieure à la moyenne de l'UE (3,3%) et plus encore à la moyenne des pays d'Europe du Sud, comme l'Espagne (4,9%), la Grèce (7,5%) ou l'Italie (8,1%), et même à l'Allemagne (6,0%) (Vasconcelos, 2019).

La consommation totale en électricité a atteint un pic de plus de 50 TWh en 2010, puis a chuté à 46 TWh en 2014, et s'est depuis lors lentement redressée. Cet effondrement s'explique essentiellement par la crise et le ralentissement de l'activité économique,

et l'augmentation postérieure par la légère reprise économique. La consommation par segments montre des chiffres stables pour les consommateurs domestiques, alors que les différentes unités économiques consomment en général plus d'énergie chaque année, en particulier le secteur industriel, et plus encore le secteur agricole.

GRAPHIQUE 3. PART DES ER DANS LA CONSOMMATION FINALE D'ÉLECTRICITÉ, PAR SOURCE EN 2013-2017 (MOYENNE) [%].



Source: Institut national portugais des statistiques INE [27]

Organisation du secteur de l'électricité au Portugal

Le secteur de l'électricité au Portugal était depuis 1975 un monopole d'État géré par l'entité Electricidade de Portugal (EDP). Cette entreprise à 100% publique était le seul fournisseur d'électricité pour les secteurs domestiques et industriels. EDP était également propriétaire, avec le gouvernement, des réseaux de transport, de distribution et de commercialisation, ainsi que des diverses centrales hydroélectriques et/ou au charbon.

En 2000, le gouvernement a décidé de détacher le réseau de transport d'EDP, en créant Rede Elétrica Nacional (REN), le nouveau gestionnaire du réseau de transport (GRT) [5]. REN, qui détient les réseaux de transport d'électricité et de gaz naturel, a été privatisée par tranches successives entre 2007 et 2014 [6]. EDP a été partiellement privatisée à partir de 1997, pour devenir un groupe totalement privé en 2011 [7]. Au cours de cette période, attendu la taille réduite du marché national, le Portugal, de concert avec l'Espagne, a créé en 1998 un marché intégré pour les deux systèmes électriques sur toute la péninsule ibérique, le «MIBEL» [8].

La libéralisation du marché a pris fin en 2006 après un processus de 9 ans. En avril 2019, le marché libéralisé ne représentait que 94% de tout le marché de l'électricité, car les clients du marché réglementé peuvent encore passer au marché libéralisé jusqu'en 2020 ; 6% de la consommation totale dépend toujours du marché réglementé [9].

EDP assure 42% de la consommation finale et les deux grands opérateurs espagnols, Iberdrola et Endesa, 17% chacun. Viennent ensuite GALP, avec 7%, et les petits opérateurs espagnols Fortia (3%), Acciona et Fenosa (2% chacun). Pris ensemble, ces opérateurs représentent plus de 90% du marché. Iberdrola et Endesa occupent une position dominante au niveau des grands comptes et de l'industrie, EDP jouant également un rôle significatif. EDP devance assez confortablement dans le segment domestique. L'importance de l'opérateur historique, EDP [10], dans le secteur électrique apparaît clairement dans le Tableau 1.

Tableau 1 : EDP Group

EDP Consolidé (2017)

Clients : 11,5 M	9,9 Électricité
Capitalisation boursière : 10B€	1,6 Gaz naturel
EBITDA : 4B€	
Capacité de production : ~ 26,8GW (73 % renouvelables)	

PRODUCTION ET APPROVISIONNEMENT :

IBERIA	**EDP BRASIL**	**EDP RENEWABLES**	**REGULATED NETWORKS IBERIA**
17 % d'EBITDA	17 % d'EBITDA	39% d'EBITDA	27% d'EBITDA
Capacité de production – 13,6 (Portugal et en Espagne (7,1GW hydro.)	Capacité de production – 2,5 G\ (1,7 GW hydro.)	Capacité de production (Éolienne et solaire) - 10,7 GW	
5,5 M électricité ,7 Gaz naturel			

https://portugal.edp.com/en/customers-0

Source: EDP Group

En ce qui concerne les ER, le Tableau 2 contient une liste des plus grandes entreprises appartenant à l'Association portugaise des énergies renouvelables (APREN) [11], qui fournissent plus de 90% du total de l'électricité d'origine renouvelable.

Tableau 2 :	Principaux producteurs d'énergies renouvelables (APREN)		
	Énergie	**Production**	**Pays d'origine**
Acciona Energia Portugal	Éolienne/Sol.	165,6	Espagne
Brookfield renewable	Éolienne	123,1	Amérique du Nord
EDF EN	Éolienne	235	France
EDP GPE	Hydro./Sol./Éo	6891	Portugal
EDP Ren	Éolienne/Sol.	1301	Portugal
Finerge	Éolienne	742,5	Portugal
Generge	Hydro./Sol./Éo	488,5	Portugal
Iberdrola	Éolienne	92	Espagne
Iberwind	Éolienne	726,1	Portugal
Lestenergia	Éolienne	143,8	Portugal
The Navigator company	Bio./Sol.	488,5	Portugal
Trustwind	Éolienne	488,5	France/Japon
TOTAL		**11.885,6 MW**	

Source: APREN

Le marché des ER est donc fragmenté, avec des opérateurs locaux et étrangers. La plupart des opérateurs solaires ne figurent pas dans cette liste car ils sont extrêmement dispersés et opèrent pour la plupart à une échelle relativement petite. Comme nous l'avons expliqué, il s'agit précisément du type d'énergie renouvelable présentant le plus fort potentiel car elle ne représente qu'un très faible pourcentage de la production électrique.

R&D et innovation

Le gouvernement portugais a fait de l'énergie l'un des 15 thèmes prioritaires de la stratégie ENEI («Estratégia Nacional de Investigação e Inovação para uma Especialização Inteligente 2014-2020» - RIS3 Portugal 2014-2020), avec quatre axes, qui sont tous très importants pour le secteur de l'électricité [12].

1. Optimisation de la production et du transport de l'énergie et complémentarité de leur gestion (renouvelables, non renouvelables, nouveaux combustibles et hydrogène, piles à combustible, fusion nucléaire, capture et stockage de CO_2, gestion des systèmes énergétiques en temps réel, alimentation des systèmes de stockage).
2. Utilisation finale de l'énergie, efficacité énergétique et impacts (villes intelligentes, NZEB bâtiment dont la consommation d'énergie est quasi nulle, l'énergie dans le secteur du transport, modes de consommation et comportements des consommateurs, distribution de l'électricité et du gaz naturel, changement climatique).

3. Applications des nouvelles technologies et des réseaux énergétiques intelligents (TIC, réseaux intelligents).
4. Intégration du marché européen de l'énergie (modélisation, planification, nouveaux modèles de marché, réglementation).

La R&D dans le secteur de l'énergie est passée de 100 M€ en 2014 à 106 M€ en 2016 (Tableau 3). Les dépenses se divisent pratiquement à parts égales entre les entreprises (44%) et les établissements d'enseignement supérieur (universités et instituts polytechniques) (47%) ; le gouvernement est à l'origine des 9% restants [13].

Tableau 3

R&D PAR AIRE THÉMATIQUE SELON LA ENEI (2014 - 2016)

Unité : K€

	2014		**2015**		**2016**		***Moyenne 2014-2016***	
Énergie	99.799		103.209		105.667		*102.892*	
Entreprises	46.009	*46%*	43.290	*42%*	46.880	*44%*	*45.393*	***44%***
Enseignement supérieur	46.291	*46%*	50.175	*49%*	49.632	*47%*	*48.699*	***47%***
Gouvernement	7.479	*7%*	9.745	*9%*	9.155	*9%*	*8.793*	***9%***
R&D totale au Portugal	2.232.249	**4,5%**	2.234.370	**4,6%**	2.388.467	**4,4%**	*2.285.029*	**4,5%**

Source: DGEEC

Ces données sur la R&D dans le secteur de l'énergie sont néanmoins en contradiction avec les informations recueillies auprès de sources de statistiques nationales à propos du secteur NACE 35 [14]. La production, le transport et la distribution d'électricité (y compris le commerce) sont comprises dans cette catégorie, mais ils ne sont pas les seuls [15]. Si l'on prend cette catégorie NACE comme une représentation approximative du secteur de l'électricité, il apparaît dans l'enquête annuelle sur le potentiel scientifique et technologique national (IPCTN) 2017 [16] que la R&D des entreprises dans la catégorie NACE 35 ne s'est élevée qu'à 4 M€ en 2017. Cela signifie que l'intensité de la R&D entrepreneuriale (R&D des entreprises/ valeur ajoutée brute) pour la catégorie NACE 35 est de 0,10%, contre 0,67% pour l'ensemble de l'économie.

Les conclusions de l'Enquête communautaire sur l'innovation de 2016 [17] viennent renforcer cette hypothèse puisqu'il apparaît que 51% des entreprises du secteur seulement réalisent des activités d'innovation, contre 64% pour l'ensemble de l'économie. Si l'on analyse plus précisément l'innovation des produits ou des processus, les chiffres tombent à 49% pour la catégorie NACE 35 contre 57% à l'échelle nationale des entreprises qui innovent. Le côté positif est que 30% des entreprises qui innovent dans la catégorie NACE 35 exercent des activités de R&D au sein de leur organisation et que 20% acquièrent des services de ce type, contre 19% et 11%

globalement. En définitive, ces entreprises innovent moins, mais la moitié de celles qui le font réalisent en interne ou achètent des activités de R&D, contre 30% à l'échelle de l'économie nationale.

Les unités de R&D les plus importantes sont naturellement associées aux principaux opérateurs de réseau, EDP et REN.

EDP Innovation est la filiale d'EDP consacrée à l'innovation [18]. Avec 32 collaborateurs, elle compte plus de 2 500 applications en service, 27 projets pilotes et un investissement cumulé en R&D (chiffres de 2017) de 26 M€ ; son chiffre d'affaires annuel s'élève à 41 M€ (2017). Ses activités de R&D et d'innovation portent sur 5 grands axes:

1. Une énergie plus propre: énergies renouvelables et production d'énergie thermique et hydroélectrique à grande échelle, y compris l'énergie houlomotrice (HAWE), les nouvelles technologies solaires, l'énergie éolienne offshore, l'énergie éolienne terrestre, l'énergie solaire photovoltaïque et l'énergie solaire à concentration ; estimation de la durée de vie des éoliennes ;
2. Les réseaux intelligents: Infrastructures de réseaux intelligents (système décentralisé et hybride) et gestion de la production d'énergie.
3. Data Leap: cloud computing, big data et analytique avancée, pour rapprocher l'énergie achetée auprès des producteurs et l'énergie vendue aux consommateurs, agrégée par le détaillant ; réalisation d'inspections des lignes et de l'entretien préventif ; Web 3.0, Internet des objets, création de solutions à faible coût pour surveiller la consommation d'énergie dans les foyers.
4. Stockage de l'énergie: innovation en matière de technologie de batteries et de gestion et contrôle du stockage, selon le système V2G, en utilisant les batteries des véhicules électriques (VE) pour compléter le réseau grâce à la flexibilité décentralisée et en innovant dans le domaine de la réutilisation des batteries de VE usagées pour les applications de réseau afin de leur donner une deuxième vie.
5. Des solutions axées sur le client, telles que la tarification et les forfaits intelligents, et l'efficacité énergétique, pour transformer la relation entre EDP et le nouveau consommateur d'énergie. Quatre grands domaines sont ciblés: la maison intelligente et l'énergie intelligente, la mobilité électrique, l'implication du client numérique et des modèles d'entreprises innovantes, et l'augmentation de l'électrification.

Depuis 2007, EDP met progressivement en place des compteurs intelligents utilisant la technologie 4,5G, dans les foyers des clients du réseau électrique. L'objectif d'EDP était d'atteindre 60% en 2020 et selon les estimations, en 2018, 1,3 million de compteurs intelligents étaient en service. Selon la loi, l'objectif est désormais d'avoir 100% de compteurs électriques en 2022.

REN, le GRT, est l'autre grand acteur de la R&D dans le secteur de l'électricité, avec R&D Nester [19]. À l'instar d'EDP Innovation, NESTER investit dans un nouveau schéma qui associe l'énergie issue de sources renouvelables, avec la production décentralisée, les réseaux intelligents et la gestion de la demande via de nouvelles technologies de stockage et les VE.

Il convient également de citer Efacec, qui est un fournisseur industriel portugais dont le rôle est fondamental dans ce domaine. Il fournit des projets clé en main dans le secteur de l'énergie, comprenant des centrales de production d'électricité de tout type (énergie thermique, hydroélectrique, biomasse, houlomotrice, éolienne et solaire). C'est le leader mondial des bornes de recharge rapide et ultra-rapide pour VE. Il prend également en charge l'intégration dans les systèmes de gestion pour une utilisation efficace de l'infrastructure du réseau électrique [20].

Au cours des deux dernières décennies, de nombreux brevets ont été déposés auprès de l'Institut national de la propriété intellectuelle (INPI) et sont actuellement actifs (Tableau 4) [21].

Tableau 4 :

Brevets sur les sources d'énergie faibles en carbone

Éolienne	Nº	Solaire	Nº	Houlomotrice	Nº	Biomasse	Nº	Hydroélectrique	Nº	iéothermiqu	Nº	Autres	Nº		
Éolienne	30	Solaire	94	Houlomotrice	45	Biomasse	3	Hydroélectrique	5	iéothermiqu	2	oduction d'hydrogèr	21		
énérateur d'a	3	Capteur solaire	25	Énergie des marées	8	Biocarburant	6	ergie hydrauliqu	8	-		Stockage de l'énergie	27		
urbine éolienr	18	anneau solaire	26	Énergie marine	1	Biodiésel	8	-							
		Thermique solai	16	Courant marin	4	Bioéthanol	4								
		PV Solaire	4	Turbine hydraulique	3	Biogaz	6								
		CSP	5	olonne d'eau mobile	3	Biométhane	2								
Éolienne	**51**	**Solaire**	**170**	**Houlomotrice**	**64**	**Biomasse**	**29**	**Hydroélectrique**	**13**	**iéothermiqu**	**2**	**Outros**	**48**	**TOTAL**	**377**

Source : Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), dans PNEI 2021-2030

Le nombre de brevets dans le domaine de l'énergie solaire renforce les prévisions de croissance de la contribution des technologies solaires à la production électrique. Le gouvernement ne subventionne plus les panneaux solaires dans les bâtiments privés, mais on estime que le développement des technologies solaires, en particulier de l'énergie solaire concentrée (technologies CSP/CST) devrait encourager le développement de ce secteur.

Mobilité

Mobility et MOBI.e sont de bons exemples d'association entre les politiques, la R&D et l'innovation. Le Portugal était en 2011 l'un des sites pilotes du projet européen MOBI.E [22]. Le projet a permis de créer un réseau de 400 bornes de recharge publiques. Cette grande infrastructure, qui était gratuite, a été pratiquement laissée à l'abandon pendant la crise au Portugal, mais a été relancée et élargie avec le nouveau gouvernement. Le réseau est aujourd'hui pleinement opérationnel, et comprend

960 bornes de recharge publiques. Très bien accueilli, il compte à son actif plus d'un million de rechargements, avec plus de dix mille voitures inscrites, gratuitement.

Depuis le mois d'avril 2019, les bornes situées dans des sites privés ont le choix de faire payer le chargement pour chaque voiture. C'était déjà le cas depuis novembre 2018 pour les bornes de recharge rapide (20-30 min pour une capacité de 80%) uniquement. Inteli, un centre d'innovation local, était au cœur du projet, aux côtés de deux éditeurs de logiciels, Renault, et deux des sociétés susmentionnées, EDP Innovation (R&D) et Efacec, qui ont fourni la plupart des bornes de recharge. Par ailleurs, le gouvernement donne en 2019 une subvention de 3 000 € (2 250 € en 2018) à tout consommateur souhaitant acheter une voiture électrique (250 € pour un vélo électrique et 400 € pour une moto électrique) [23].

Tableau 5 : Pénétration du VE

Pays	Part du VE (%)	PIB/hab. /10^3 €
Suède	8	47,9
Pays-Bas	6,7	44,6
Finlande	4,7	42,2
Portugal	**3,4**	**19,5**
Autriche	2,5	43,6
R.-U.	2,5	37,6
Belgique	2,4	39,6
Danemark	2,1	54,4
France	2,1	36,2
Allemagne	2	41
Irlande	1,6	63,4
Hongrie	1,5	14,2
Slovénie	0,9	22,4
Espagne	0,9	26,2
Bulgarie	0,6	8,1
Lettonie	0,6	14,9
Estonie	0,5	18,8
Italie	0,5	29
Roumanie	0,5	10,8
Rép. Tchèqu	0,4	20,5
Lituanie	0,4	15,9
Grèce	0,3	17,1
Slovaquie	0,3	16,6
Pologne	0,2	12,9
EU 24	**1,9**	**29,1**

Remarque : Les données de pénétration du VE sont indisponibles pour la Croatie, Chypre, le Luxembourg et Malte.

79% **-33%**

Les chiffres publiés par l'Association des constructeurs européens d'automobiles [24], le 6 mai 2019, reflètent bien le succès de cette politique. Le Portugal, avec une pénétration de 3,4% des VE (Voitures électriques/Total des voitures), se classe au 4ème rang des pays de l'UE, juste derrière la Suède, les Pays-Bas et la Finlande, et largement au-dessus de la moyenne de l'UE qui se situe à 1,9% (Tableau 5). Le Portugal se situe ainsi 80% au-dessus de la pénétration moyenne au sein de l'UE, bien que son PIB par habitant soit inférieur de 33% à la moyenne européenne. À titre comparatif, le taux de pénétration actuel en France est de 2,1% et celui de l'Espagne de 0,9%.

Situation actuelle et politiques. Forces et faiblesses

L'analyse que fait le gouvernement de la situation énergétique du pays est décrite dans le «Plano Nacional Energia e Clima (PNEI) 2021-2030» [25], qui a été mis en œuvre de conformité avec le Règlement (UE) 2018/1999 du Parlement européen et du Conseil, du 11 décembre 2018, sur la gouvernance de l'union de l'énergie et de l'action pour le climat, afin de garantir une Union neutre en carbone en 2050 et de contribuer ainsi à

limiter le réchauffement climatique global à 2°C par rapport aux niveaux préindustriels [26]. Ce plan national comprend 5 grands axes:

1. Sécurité
2. Marché intérieur de l'énergie
3. Efficacité énergétique
4. Décarbonisation et recherche
5. Innovation et compétitivité.

Le gouvernement s'est fixé un gain d'efficacité énergétique de 25% en 2020 et de 35% en 2030 par rapport aux chiffres de 2012, mis à jour en 2016. L'objectif concernant la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique globale du pays a été fixé à 47% en 2030. Le poids des énergies renouvelables dans la production d'électricité devrait atteindre 68% en 2020, 76% en 2025 et 80% en 2030. Le Portugal prévoit de fermer toutes ses centrales à charbon d'ici 2030. Le pays poursuit l'électrification de l'ensemble de l'économie et encourage fortement la mobilité électrique.

Le PNEI définit les domaines que les programmes nationaux de R&D et d'innovation dans le secteur de l'énergie devraient couvrir:

1. Les systèmes intelligents de gestion de l'énergie et les nouvelles infrastructures, compte tenu des prévisions de forte croissance des ER, et un système de production d'énergie innovant et plus décentralisé.
2. Stockage d'énergie, compte tenu de la forte augmentation prévue des ER.
3. Les technologies à faible émission de carbone, telles que les ER décrites précédemment: éolien off-shore, photovoltaïque de deuxième génération, CSP, énergie houlomotrice et géothermique profonde.
4. Efficacité énergétique, en particulier dans le secteur industriel et les bâtiments.
5. L'hydrogène en tant que vecteur énergétique.

Il apparaît clairement que les politiques et les plans du gouvernement sont ambitieux et axés sur la décarbonisation de l'économie et sur l'adoption à grande échelle des énergies renouvelables. La séparation du GRT et de l'opérateur historique, qui reste le plus gros du marché, et ses forts investissements en faveur des énergies renouvelables sont de grands atouts. L'importance croissante des ER laisse prévoir que le Portugal atteindra les objectifs de l'UE pour 2020 et 2030. Les chiffres relatifs à la mobilité, qui montrent que le Portugal est dans le classement de tête de l'UE, est également prometteur. Le revers de la médaille serait l'absence d'un ensemble solide de partenaires industriels ainsi qu'un retard marqué dans la production d'énergie solaire (ce qui n'est pas acceptable dans un pays aussi ensoleillé que le Portugal).

Bibliographie:

Vasconcelos, J. (2019) *A energia em Portugal*. Fundação Francisco Manuel dos Santos.

Références:

1. https://www.pordata.pt/Homepage.aspx
2. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&contecto=pi&indOcorrCod=0007273&selTab=tab0
3. http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheNoticias.asp?ID_conteudo=966&ID_area=23
4. http://www.erse.pt/pt/electricidade/actividadesdosector/producao/Paginas/default.aspx?master=ErsePrint.master
5. http://www.erse.pt/pt/imprensa/comunicados/2000/Comunicados/comunicadodeimprensa_separacaoentreareneogrupoedp.pdf
6. https://www.jornaldenegocios.pt/mercados/detalhe/estado_encaixa_157_milhoes_com_privatizacao_da_ren_pouco_concorrida_por_pequenos_investidores
7. https://www.edp.com/pt-pt/investidores/acao-edp/privatizacao
8. http://mibel.com/en/home_en/
9. http://www.erse.pt/pt/electricidade/liberalizacaodosector/informacaosobreomercadoliberalizado/2019/Comunicados/201901_ML_elec.pdf
10. https://portugal.edp.com/en/
11. https://www.apren.pt/pt/associados/junte-se-a-nos
12. http://www.dgeec.mec.pt/np4/206/%7B$clientServletPath%7D/?newsId=948&fileName=DGEEC2018_DespesaIDPorAreaTematicaENEI.pdf
13. http://www.dgeec.mec.pt/np4/206/%7B$clientServletPath%7D/?newsId=948&fileName=DGEEC2018_DespesaIDPorAreaTematicaENEI.pdf
14. Statistical classification of economic activities in the European Union.
15. Electricity, gas, steam and air conditioning supply.
16. http://www.dgeec.mec.pt/np4/206/
17. http://www.dgeec.mec.pt/np4/207/
18. https://www.edp.com/en/edp-innovation
19. http://www.rdnester.com/
20. https://electricmobility.efacec.com/
21. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/portugal_draftnecp.pdf
22. http://www.veiculoselectricospt.com/mobi-europe/
23. https://www.fundoambiental.pt/avisos-2019/incentivo-pela-introducao-no-consumo-de-veiculos-de-baixas-emissoes-2019.aspx

24. https://www.acea.be/statistics/article/interactive-map-correlation-between-uptake-of-electric-cars-and-gdp-in-EU
25. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/portugal_draftnecp.pdf
26. https://ec.europa.eu/commission/priorities/energy-union-and-climate_en.
27. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0007273&contexto=bd&selTab=tab2

APERÇU DE LA SITUATION EN FRANCE, Cecilia Hinojosa (Université Toulouse III - Paul Sabatier) et Thierry Talbert (PROMES - CNRS - Université de Perpignan Via Domitia)

Introduction

Confrontés aux problématiques et aux enjeux du réchauffement climatique, nous n'avons d'autre choix que de repenser la façon dont nous produisons et consommons. Il nous faut concevoir de nouveaux modèles de croissance, et plus particulièrement des modèles de croissance durable, dans une société plus efficace énergétiquement et moins dépendante du nucléaire et des combustibles fossiles. Lors de la COP21 qui s'est tenue à Paris en 2015, la nécessité pour les gouvernements et les entreprises de soutenir les innovations en faveur de technologies à faible intensité en carbone a été reconnue afin de limiter la hausse des températures moyennes mondiales. C'est avec cette finalité que deux initiatives internationales majeures ont été lancées en 2015: la «Mission Innovation» et la «Breakthrough Energy Coalition». Leur objectif est d'accélérer l'innovation, mais aussi d'encourager et d'orienter les investissements en faveur des énergies propres pour lutter contre le changement climatique. Le système de soutien à la R&D française s'inscrit dans ce cadre puisqu'il cible ses efforts sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique.

Soutien et investissement public en faveur de la R&D sur l'énergie en France

Les politiques françaises en matière de recherche et d'innovation ont connu de profondes transformations ces dernières années. Depuis 2013, les politiques se tournent vers le développement de systèmes plus cohérents visant à renforcer les partenariats public-privé et à optimiser l'utilisation des ressources humaines et financières. Le modèle choisi par la France pour soutenir la recherche et l'innovation repose sur des régimes de soutien indirect, lesquels représentaient 70% des aides publiques à la R&D en 2013 (OCDE, 2016).

Stratégie

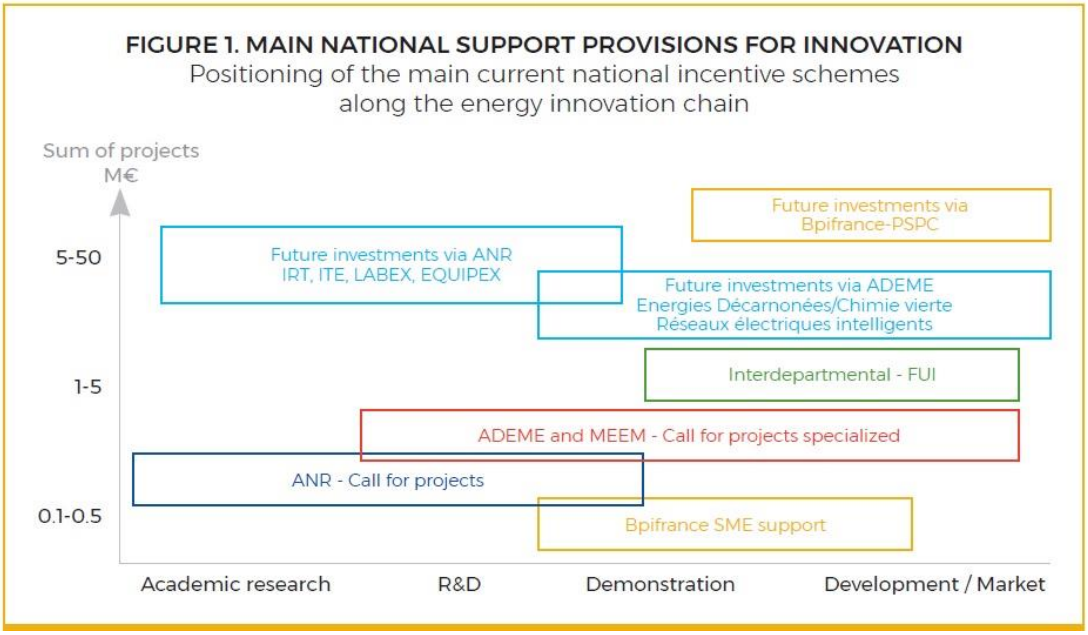
Dans la lutte contre le changement climatique, la recherche de nouveaux moyens de production d'énergie se fonde principalement sur la R&D et l'innovation. Ce sont donc

les piliers de la transition vers la «croissance verte». Dans ce contexte, la France a mis en place une Stratégie nationale de recherche énergétique (SNRE) visant à orienter les choix technologiques et de société nécessaires à une «croissance verte et durable». Cette stratégie a été établie par la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) et la ratification de l'Accord de Paris signé à l'issue de la COP21.

Cette stratégie se fonde sur la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) et sur la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE). Elle a été développée conformément aux grandes lignes directrices de la Stratégie nationale de recherche (SNR) pour l'énergie.

Au centre de la stratégie, tous les piliers de la politique énergétique et tous les types d'énergies sont impliqués: le contrôle de la demande en énergie, la maîtrise des coûts de l'énergie, la promotion des énergies renouvelables, la sécurité de l'approvisionnement et l'indépendance énergétique, etc. Cela signifie qu'il est possible de construire une vision cohérente et complète de la place des énergies et de leur évolution souhaitable au sein de la société française.

En France, il existe plusieurs systèmes de financement et/ou d'incitation à la recherche pour les établissements publics et privés (la figure ci-dessous illustre ces systèmes de financement).



Source: Stratégie nationale de recherche énergétique, décembre 2016

La France soutient des projets de recherche collaborative entre acteurs de la R&D publics et privés et des projets innovants dans le cadre du programme Investissements

d’avenir (PIA), tout en soutenant les projets innovants d’entreprises avec un budget de 22 milliards d’euros pour l’enseignement supérieur et la recherche. Le financement de ces différents projets a lieu tout au long de la chaîne d’innovation et au travers de différents systèmes nationaux.

Parallèlement, dans le secteur de l’énergie, on compte quatre grands acteurs œuvrant à la promotion de solutions innovantes. Il s’agit des organismes suivants:

- ANR: Agence nationale pour la recherche
- ADEME: Agence de l’environnement et de la maîtrise de l’énergie
- CRE: Commission de régulation de l'énergie

Agence nationale pour la recherche

L’Agence Nationale pour la Recherche (ANR) est l’agence française de financement de la recherche sur projets, destinée aux opérateurs publics coopérant entre eux ou avec des entreprises par différents moyens de financement.
L’ANR gère un programme de financement de la recherche fondamentale par le biais d’appels à projets ciblés dont les priorités sont définies par la stratégie de recherche nationale.

Dans le domaine de l'énergie, 5 axes ont été définis:

- Gestion dynamique des systèmes énergétiques ;
- Gouvernance multi-échelles des systèmes énergétiques ;
- Efficacité énergétique dans tous les secteurs de l’économie ;
- Réduction des besoins en matériaux stratégiques ;
- Décarbonation de l’énergie et de la chimie.

Dans le même temps, l’ANR est responsable de l’orientation des Instituts pour la transition énergétique (ITE). Les actions menées visent à constituer des campus d’innovation technologique de référence dans les nouvelles technologies liées à l’énergie et à regrouper entreprises et laboratoires. Ces centres de recherche publics-privés constituent une base structurante pour les activités de recherche et d’innovation dans les domaines suivants:

- Chimie verte et agro-matériaux: PIVERT
- Énergies solaires: IPVF et INES2
- Réseaux électriques: SUPERGRID
- Efficacité énergétique et villes durables: EFFICACITÉ
- Bâtiment durable: INEF4
- Véhicules décarbonés et connectés: VEDECOM
- Énergies marines renouvelables: France marine énergies
- Technologies géothermiques et souterraines: Géodénergies

ADEME

L'Agence française de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle agit en tant qu'opérateur du PIA sur les questions stratégiques. En particulier, elle soutient par des subventions ou des avances remboursables, les programmes de recherche, développement et innovation dans le domaine de l'énergie sans carbone et de la transition énergétique et environnementale dans les secteurs suivants:

- Énergies renouvelables
- Décarbonation des utilisations de l'énergie, efficacité énergétique
- Stockage, conversion de l'énergie et réseaux intelligents
- Bâtiment durable, en particulier rénovation énergétique
- Eau et biodiversité
- Économie circulaire
- Nouvelles solutions de mobilité, technologies et infrastructures de transport plus efficaces du point de vue énergétique et ayant un impact moindre sur l'environnement.

CRE

La Commission de régulation de l'énergie (CRE) est une autorité administrative indépendante. Ses missions sont divisées en deux catégories: Premièrement, elle a pour vocation de contribuer au bon fonctionnement des marchés de l'électricité et du gaz naturel au bénéfice des consommateurs et en cohérence avec les objectifs de la politique énergétique ; deuxièmement, elle règlemente les réseaux de gaz et d'électricité, qui sont des monopoles, en fixant leurs tarifs et en garantissant qu'ils ne favorisent pas certains utilisateurs. En matière de recherche et d'innovation, sa mission est de mettre en œuvre des dispositifs de soutien aux énergies renouvelables en lançant des appels d'offres.

Acteurs publics

Les principaux acteurs interviennent tout au long de la chaîne de valeur de la R&D et sont soutenus par les différents mécanismes d'aide à la R&D. Ce sont principalement les laboratoires publics, et notamment le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) qui exécutent la recherche fondamentale. La recherche industrielle et les démonstrations de recherche sont surtout menées par des établissements publics tels que le Commissariat à l´énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), le Centre scientifique et technique de la construction (CSTB) et l'IFP Energies nouvelles (IFPEN), l'ancien Institut français du pétrole. D'autres structures peuvent participer, dans une

moindre mesure, au développement de réseaux intelligents, comme le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM).

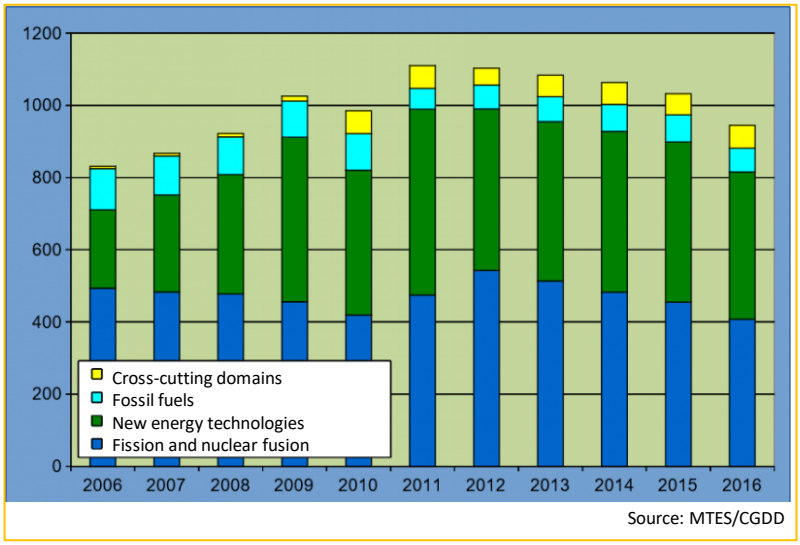
Investissement

Les défis liés à l'énergie que posent les nouvelles méthodes de production (sources variables et distribuées d'énergies renouvelables), la consommation (rôle proactif des consommateurs, efficacité énergétique, etc.), le transport et le stockage (réseaux intelligents, etc.) et la question de l'énergie à l'horizon 2050 et au-delà nécessitent des investissements importants, des travaux de R&D majeurs, ainsi qu'un accompagnement des canaux existants et des nouveaux canaux vers la maturité et le développement, ainsi qu'un niveau de compétitivité suffisant pour relever ces défis et parvenir à une maîtrise du mix énergétique.

Dans ce contexte, selon les données de l'OCDE, En 2018, la France a consacré 2,2% de son PIB à la R&D intérieure brute (dépenses des entreprises, établissements d'enseignement supérieur et organismes de recherche), un niveau légèrement supérieur à la moyenne européenne (2%). En ce qui concerne les investissements de R&D en énergie, la France reste en tête, avec un investissement de 0,5% du PIB, selon l'AIE.

Un effort considérable a été consenti en matière de dépenses publiques en faveur de la R&D énergétique. À titre d'exemple, 944 millions d'euros ont été investis en 2016 dans le but d'investir principalement dans les nouvelles technologies dans les domaines de l'énergie, de l'énergie nucléaire, des énergies fossiles et des domaines de recherche transversaux, comme le montre le graphique ci-dessous.

GRAPHIQUE 2. DEPENSES PUBLIQUES EN FAVEUR DE LA R&D ENERGETIQUE (MILLIONS D'EUROS)



Source: https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/recherche-et-developpement-lenergie

Stratégies d'innovation des entreprises énergétiques

Au vu de tout ce qui précède, il est possible de distinguer deux grands groupes de stratégies d'innovation liées aux entreprises:

- Des stratégies directement associées à différents programmes de recherche (PIA, ADEME, ANR, et dans une moindre mesure la CRE) ;
- Des stratégies offrant une certaine flexibilité à l'innovation (CRE), voire une liberté totale (Fonds unique interministériel et financement régional).

Dans le premier cas, lorsque des orientations sont définies par l'État, on retrouve l'ensemble des projets mis en œuvre ces dernières années sur les réseaux intelligents développés par EDF, RTE, Siemens, Schneider Electric (liste non exhaustive). Les objectifs communs peuvent être:

- L'intégration des énergies renouvelables dans le réseau. Les choix ont généralement porté sur une production d'énergie locale, à l'échelon des quartiers et/ou des villes (Projets: NiceGrid, Lyon Smart Community, Grenoble Écocité, Premio, Kergrid, Elhyrat, etc.);
- Gestion locale de l'énergie. Conformément au point précédent et au point suivant (Linky), un certain nombre de projets ont porté sur la gestion de l'énergie locale avec ou sans intervention de l'exploitation des différents systèmes de consommation en fonction des contraintes de prix, de fiabilité, etc. (Projets: GreenLys, Vir'Volt, Réseau de Rennes, Smart Campus Nice Sophia Antipolis, etc.);
- Développement d'un système de compteurs d'énergie locaux (Linky) et son intégration dans la gestion énergétique locale et régionale (Projets: Reflexe, Watt & Moi, GridTeams, une Bretagne d'avance, Val d'énergie, Janus, etc.).
- Intégration des véhicules électriques dans le réseau. La gestion énergétique des bâtiments et la transformation de gaz font également partie des différents points que nous retrouvons dans les développements (Projets: Greenfeed, Telewatt, Jupiter 1000, Demeter, Move in pure, Pushy, Show it, etc.).

Outre les objectifs nationaux, certains projets tentent de répondre à des problèmes locaux. Prenons par exemple le problème typique de la gestion au plus fort de la consommation en Bretagne (Projets: Enbrin, Adresse, Boucle énergétique locale - Rive droite de Brest, Opération Vir'Volt, Une Bretagne d'avance, etc.).

Dans le deuxième cas, il existe un certain nombre de programmes financés par le FUI, le FEDER, les régions ou des fonds propres qui concernent des aspects particuliers de la recherche autour des réseaux intelligents. Les projets RIDER, Primergi, Oslo2Rome et DataZero, en sont quelques exemples. Ces projets concernaient:

- Des problèmes qui ne figurent pas dans les recommandations nationales mais qui sont apparus plus tard. C'est le cas du projet RIDER qui traitait de la gestion de l'énergie fatale des centres de données pour la réalisation d'une boucle pour la gestion thermique des bâtiments commerciaux. Citons également le projet DataZero qui comporte des sujets qui ne sont pas directement couverts par les recommandations nationales. C'est aussi le cas des projets PRIMERGI et Oslo2Rome, qui ont proposé des solutions pour la gestion des pannes dans les installations photovoltaïques (individuelles et haute puissance) et le traitement décentralisé des informations de gestion de l'énergie électrique, y compris l'utilisation de véhicules électriques.

Pour les années à venir, les objectifs suivants se démarquent:

- La décentralisation des systèmes énergétiques, à savoir la possibilité de gérer de manière intelligente la distribution des sources d'énergie renouvelables sur l'ensemble du territoire, en particulier la production locale mais aussi l'autoconsommation ;
- La territorialisation des politiques énergétiques. Dans un contexte de décentralisation croissante (via la Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) et la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE)), les territoires (ville, agglomération, département, région) sont tenus de: proposer des politiques énergétiques locales (Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET)). La région de l'Occitanie est notamment à l'avant-garde de cette tendance puisqu'elle s'est fixé pour objectif de devenir la première région européenne à énergie positive d'ici à 2050.
- La décarbonation du mix énergétique. La France s'est engagée à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 75% d'ici 2050 par rapport à 1990 (Facteur 4, de la SNBC). Bien que la France ait déjà un bouquet énergétique relativement décarboné par rapport aux autres économies européennes, tout l'enjeu consiste à conserver un mix décarboné. Cela se reflète dans les engagements de la LTECV et dans les orientations du programme énergétique pluriannuel.
- Comme pour le point précédent, des systèmes spécifiques de contrôle de la circulation locale en fonction du type de moteur des véhicules sont en place, en plus de l'orientation nationale. On peut citer, par exemple, les zones de protection de l'air (ZPA) et les zones de circulation restreinte (ZCR), avec le double objectif de réduire les émissions de CO_2 et de polluants nocifs (NOX, particules fines). Les agglomérations de Toulouse et de Montpellier, avec des pôles de compétitivité DERBI, ont une feuille de route stratégique de 4 ans pour l'innovation dans leur ZPA respective.

- La digitalisation des systèmes énergétiques. Tous les capteurs qui ont été et/ou sont déployés dans les systèmes électrique, résidentiel, eau, gaz, etc. permettent de recueillir des données ; une tendance qui connaît une croissance exponentielle. Cela permet de traiter, d'analyser et de mettre à disposition les informations pour optimiser la gestion des systèmes énergétiques, de la production à la consommation finale. Les technologies digitales doivent mettre les nouveaux services à disposition de tous les acteurs des systèmes énergétiques: planification, suivi de la mise en œuvre des politiques et identification des besoins des décideurs (autorités locales et régionales, par exemple), amélioration de la connaissance des gisements de ressources et de la capacité de production des promoteurs de projets, meilleure anticipation de l'équilibre entre l'offre et la demande pour les gestionnaires de réseau, traçabilité de l'énergie d'origine non fossile pour les fournisseurs d'électricité et de gaz, suivi en temps réel de la consommation et services de récupération pour les consommateurs, etc.
- Le changement des utilisations et l'évolution du rôle du consommateur. Si le principe de l'évolution du système énergétique semble être accepté, il se heurte encore souvent à la réticence des citoyens face à la modification de leur environnement direct. Les informations recueillies devraient permettre de créer de nouveaux services et de modifier le comportement de l'utilisateur final.

Conclusion

Comme nous l'avons vu, ces dernières années, les innovations technologiques ont principalement porté sur les sujets suivants (liste non exhaustive):

- Intégration des énergies renouvelables dans le réseau;
- Gestion de l'énergie à l'échelon local;
- Digitalisation des informations (électricité, gaz, eau, etc.);
- Intégration du réseau intelligent avec d'autres sources d'information comme les transports, les risques et les véhicules électriques;
- Détection des pannes;
- Blockchain du traitement et de la gestion des informations.

La structure de financement mise en place permet de faire le lien entre les objectifs au niveau local (ville, département et région) via un financement régional par exemple, et le niveau national, avec par exemple les futurs programmes d'investissement et l'Agence nationale pour la recherche. L'objectif est de faire en sorte que la politique locale multiplie l'impact de la politique nationale sur les entreprises locales. Les

principales lignes de recherche des cinq prochaines années ont été définies par la SNR et complètent les objectifs précédents via:

- La décentralisation de la gestion de l'énergie, y compris la promotion de l'autoconsommation ;
- La territorialisation de l'énergie ;
- La décarbonation des mix énergétiques ;
- La digitalisation des informations au sens du Big Data ;
- L'intégration du rôle du consommateur dans la chaîne énergétique.

Références:

1. This law aims to enable France to contribute more efficiently to the fight against climate change and the preservation of the environment, as well as strengthening its energy independence while offering its companies and citizens access to energy at a competitive cost.
2. The National Low Carbon Strategy (SNBC) describes France's roadmap for achieving carbon neutrality by 2050. It sets targets for reducing greenhouse gas emissions in the medium term by setting carbon budgets that do not exceed five years. OECD Economic Surveys: France © OECD 2019.
3. The Multiannual Energy Program (EPP) presents a strategy for decarbonising France's energy mix for the next ten years: the share of renewable energy will have to reach 32% of final energy consumption by 2030. OECD Studies economic: France © OECD 2019
4. The challenge of the National Research Strategy (SNR) is to respond to the constant challenge of knowledge and the unprecedented socio-economic challenges of our century. In the field of energy, these challenges have been, identified in accordance to the European Horizon 2020 program.
5. Organization for Economic Co-operation and Development
6. OECD (2019), Gross Domestic Expenditures on R&D (indicator). doi: 10.1787 / 49ef953e-en (Accessed May 21, 2019)
7. http://www.bsi-economics.org/images/systinnofrance.pdf
8. International Energy Agency (IEA)

5. DEUX APPROCHES EN MATIÈRE D'INNOVATION

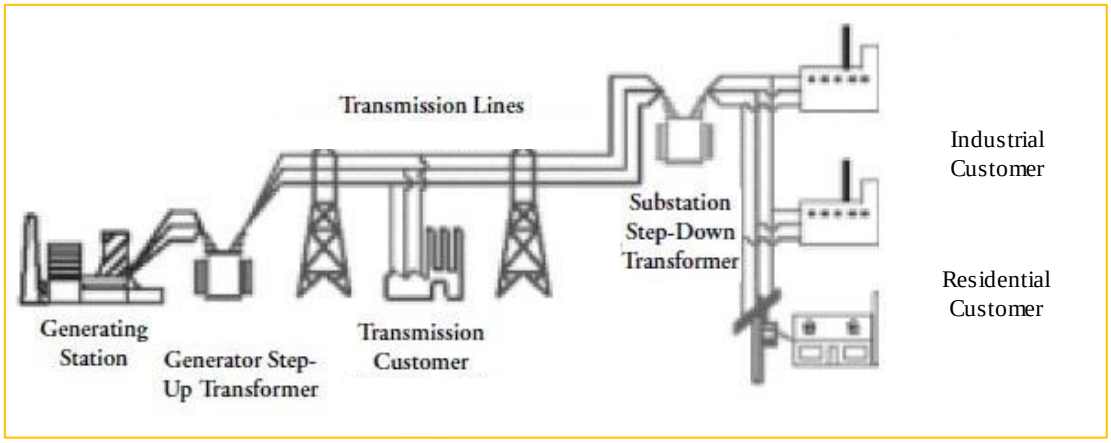
INNOVATION SOUS L'ANGLE TECHNOLOGIQUE, José F. Sanz (Universidad de Zaragoza)

L'actuel système d'alimentation électrique

L'électricité étant rapidement et facilement transportable, mais aussi quasi-instantanément adaptable et disponible, elle est en passe de devenir un vecteur d'énergie significatif dans tous les domaines de l'activité humaine. L'électricité est actuellement la forme d'énergie la plus utile. Elle est présente dans tous les secteurs de la société en raison de la diversité de ses applications. De plus, elle gagne rapidement du terrain dans le secteur crucial des transports.

L'actuel système d'alimentation électrique (SAE), qui a permis le développement de la société telle que nous la connaissons, remonte au XIXe siècle. Il se compose de quatre éléments de base: de grands générateurs situés loin des centres de consommation ; des réseaux de transport qui transportent l'énergie des générateurs aux consommateurs ; des réseaux de distribution qui adaptent les valeurs de tension et de courant en fonction des besoins des consommateurs ; et enfin, les consommateurs eux-mêmes.

GRAPHIQUE 1: LA STRUCTURE DU SYSTEME D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE



Source: Wikipedia Commons

Les grands types de générateurs se divisent en deux catégories: ceux qui utilisent des combustibles fossiles et ceux qui utilisent des énergies renouvelables. Les centrales nucléaires et les centrales au gaz, au charbon et au pétrole sont des exemples de générateurs utilisant des combustibles fossiles. Dans la deuxième catégorie en revanche, on trouve les centrales hydroectriques, les parcs d'éoliennes, les systèmes photovoltaïques et d'autres installations comme les centrales marémotrices, hydrauliques ou biomasse.

Le tableau suivant, qui utilise les données du Réseau européen des gestionnaires de réseau de transport d'électricité (ENTSO-E) pour l'année 2018, illustre les différences au niveau de la configuration des systèmes de production en Espagne, en France et au Portugal.

TABLEAU 1. CAPACITÉ DE PRODUCTION NETTE (2018)						
	GWh			%		
PUISSANCE	**ESPAGNE**	**FRANCE**	**PORTUGAL**	**ESPAGNE**	**FRANCE**	**PORTUGAL**
Nucléaire	7 117,3	63 130,0	-	6,8	48,2	0,0
Combustibles fossiles	44 449,4	18 588,2	6 378,8	42,7	14,2	31,9
Déchets non renouvelables	518,2	-	-	0,5	0,0	0,0
Autres non renouvelables	68,5	-	17,8	0,1	0,0	0,1
Éolienne	23 507,4	15 083,8	5 149,6	22,6	11,5	25,8
Solaire	7 017,9	8 256,2	558,2	6,7	6,3	2,8
Bio	860,5	1 143,6	658,2	0,8	0,9	3,3
Déchets renouvelables	161,5	882,8	-	0,2	0,7	0,0
Hydro	20 377,6	23 787,7	7 215,0	19,6	18,2	36,1
Autres renouvelables	16,2			0,0		
Non renouvelables	52 153,4	81 718,2	6 396,6	50,1	62,4	32,0
Renouvelables	51 941,1	49 154,0	13 581,1	49,9	37,6	68,0
TOTAL	**104 094,5**	**130 872,2**	**19 977,7**	**100,0**	**100,0**	**100,0**
Source: élaboration personnelle à partir d'ENTSO-E.						

Aux fins du tableau précédent et de toute cette étude, l'énergie hydraulique est considérée comme étant d'origine renouvelable. Comme le montre ce tableau, le Portugal tire environ 68% de sa capacité de production d'électricité de sources renouvelables ; l'Espagne environ 50% ; et la France pratiquement 38%. Les trois pays, de grands efforts sont en cours pour augmenter la part des énergies renouvelables.

En termes de production, le tableau suivant montre la production d'énergie de chaque pays par technologies. Les données sont également publiées par ENTSO-E.

TABLEAU 2. PRODUCTION D'ENERGIE ÉLECTRIQUE ANNUELLE (2018)						
	GWh			%		
PUISSANCE	**ESPAGNE**	**FRANCE**	**PORTUGAL**	**ESPAGNE**	**FRANCE**	**PORTUGAL**
Nucléaire	53 197,6	393 100,3	-	20,4	71,6	-
Combustibles fossiles	102 988,9	39 625,3	25 607,0	39,5	7,2	46,4
Déchets non renouvelables	2 434,9	2 138,7	-	0,9	0,4	-
Autres non renouvelables	28,3	-	228,0	0,0	-	0,4
Éolienne	49 570,3	27 986,8	12 353,0	19,0	5,1	22,4
Solaire	12 183,2	10 389,0	820,0	4,7	1,9	1,5
Bio	3 646,5	5 150,3	2 772,0	1,4	0,9	5,0
Déchets renouvelables	874,1	2 631,1	-	0,3	0,5	-
Hydro	36 115,7	68 167,2	13 357,0	13,8	12,4	24,2
Autres renouvelables	23,9	-	-	0,0	-	-
Non renouvelables	158 649,8	434 864,3	25 835,0	**60,8**	**79,2**	**46,9**
Renouvelables	102 413,7	114 324,5	29 302,0	**39,2**	**20,8**	**53,1**
TOTAL	**261 063,5**	**549 188,8**	**55 137,0**	100,0	100,0	100,0
Source: élaboration personnelle à partir d'ENTSO-E.						

En 2018, la production d'énergie renouvelable en Espagne s'élevait à un peu plus de 39%, à 53,1% au Portugal et à seulement 20,82% en France, où la principale source d'énergie était le nucléaire (71,6%). En Espagne et au Portugal, ce sont les combustibles fossiles (charbon et gaz) qui sont à l'origine de la plus grande part de la production. Étant donné les énormes différences entre les systèmes de production des trois pays, il est complexe de tirer des conclusions communes susceptibles de s'appliquer à tous. Cependant, si l'on considère le système de production européen dans un contexte mondial et que l'on prend les données de l'ENTSO-E pour 2017, il apparaît qu'en 2017, 65% de l'énergie produite était d'origine non renouvelable (41% d'origine fossile et 24% d'origine nucléaire) et 35% d'origine renouvelable (dont 16% d'origine hydraulique). L'Espagne est le pays le plus proche de la moyenne européenne alors que la France possède la part de nucléaire la plus élevée.

Le SAE a été conçu de sorte à ce que l'énergie circule dans une seule direction: des générateurs aux consommateurs. Cela signifie que ses divers éléments qui le composent, les protections qui existent et le fonctionnement de tous les systèmes ont été mis en place dans cet esprit. Ce système, qui a fonctionné correctement depuis plus d'un siècle, présente aujourd'hui certains défauts qui conduisent à repenser cette configuration.

Sans entrer dans les détails, le principal problème est l'impact sur l'environnement qu'entraîne l'utilisation intensive de sources fossiles pour la production d'énergie électrique. Lorsqu'ils sont brûlés, ces combustibles émettent des gaz à effet de serre (Weisser 2007), et tout particulièrement dans le cas du charbon.

TABLEAU 3. ÉMISSIONS SPECIFIQUES AUX COMBUSTIBLES FOSSILES	
	g CO_2eq/kWh
Nucléaire	1,5-20
Gaz naturel	360-575
Fioul	700-800
Charbon	800-1000
Lignite	1 100-1 700
Source: Weisser 2007	

Les émissions polluantes dues à la production d'électricité dépendent de l'association de méthodes de production d'énergie et des conditions météorologiques locales, qui peuvent augmenter ou diminuer la production d'énergie renouvelable, en particulier en Espagne. En 2018, les émissions polluantes étaient estimées à 0,246 t de CO 2 / MWh ; un chiffre qui tend à diminuer à mesure que le pourcentage d'énergies renouvelables dans le bouquet énergétique augmente.

Dans le cas de la France, les émissions sont très faibles attendu que la part de la production nucléaire est importante. On estime ainsi que les émissions de CO_2 dues à la production d'énergie sont pratiquement nulles. La France est donc confrontée à un autre problème: le retraitement des déchets des centrales et le risque inhérent à la production nucléaire.

Selon Eurostat, en 2016, le secteur de l'énergie de l'Union européenne a émis environ 6,25 tonnes de CO_2 par habitant. Plus précisément, l'Espagne a dégagé 5,1 t de CO_2 / habitant ; la France 4,7 t de CO_2 / habitant ; et le Portugal 4,47 t de CO_2 / habitant. Les trois pays se situent donc sous la moyenne de l'UE.

Un autre enjeu est la forte dépendance vis-à-vis des sources d'énergie étrangères, étant donné que la plupart des ressources fossiles sont achetées auprès d'autres pays. Le tableau suivant montre le pourcentage d'énergie importée par chaque pays par rapport à l'énergie primaire totale en 2015.

TABLEAU 4. DEPENDANCE ÉNERGETIQUE TOTALE 2015				
Pays	**Espagne**	**France**	**Portugal**	**Moyenne européenne**
Dépendance énergétique	71,9 (%)	47,1 (%)	73,5 (%)	53,6 (%)
Source: Eurostat 2016				

Selon ces données, l'Espagne a importé 96,9% de combustibles solides, de dérivés du pétrole et de gaz naturel en 2015 ; 98,7% pour la France et 99,8% pour le Portugal. En matière d'énergie nucléaire, bien que l'Espagne dispose de ses propres réserves d'uranium, elle acquiert actuellement ce minerai à l'étranger en raison du coût élevé d'extraction. En 2016, la France a également importé près de 100% de son uranium, car le pays n'a produit que 3 UT sur un total de 8 000 UT utilisés (IAEA/NEA 2018).

Cette situation crée deux problèmes majeurs. D'une part le coût d'acquisition des combustibles fossiles entraîne un déficit important de la balance commerciale, et d'autre part, les pays sont vulnérables en cas de conflit international.

Le troisième problème de l'actuel SAE est qu'il est inefficace. La génération par cycles thermiques n'est pas du tout performante. Par exemple, le niveau d'efficacité des centrales au charbon varie entre 32% et 42%, tandis que celui des centrales à gaz oscille entre 32% et 38% ; les centrales à cycle combiné peuvent quant à elles fonctionner à 60%. Les centrales nucléaires ont un niveau de rendement compris entre 33% et 37%, bien que les centrales les plus modernes puissent atteindre 45%. En général, l'utilisation faite des combustibles fossiles est inférieure à 50%.

En outre, la distance entre les sites de production et ceux de consommation entraîne de fortes pertes, à la fois dans le réseau de transport et dans le réseau de distribution. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) estime qu'en 2014, ces pertes ont atteint 9,5%, 6,4% en France et 10% au Portugal.

En général, on estime que l'efficacité de l'actuel système électrique espagnol est inférieure à 40%. Cela contraste fortement avec les énergies renouvelables dont l'efficacité atteint pratiquement 100% en phase de génération.

Un autre problème de l'actuel SAE est qu'il est difficile à planifier. La conception, la construction et la mise en service d'une grande centrale électrique ou d'une ligne de transport impliquent de lourdes dépenses et, plus important encore, de longues périodes d'amortissement, ce qui requiert d'une bonne prévision de l'éventuelle demande.

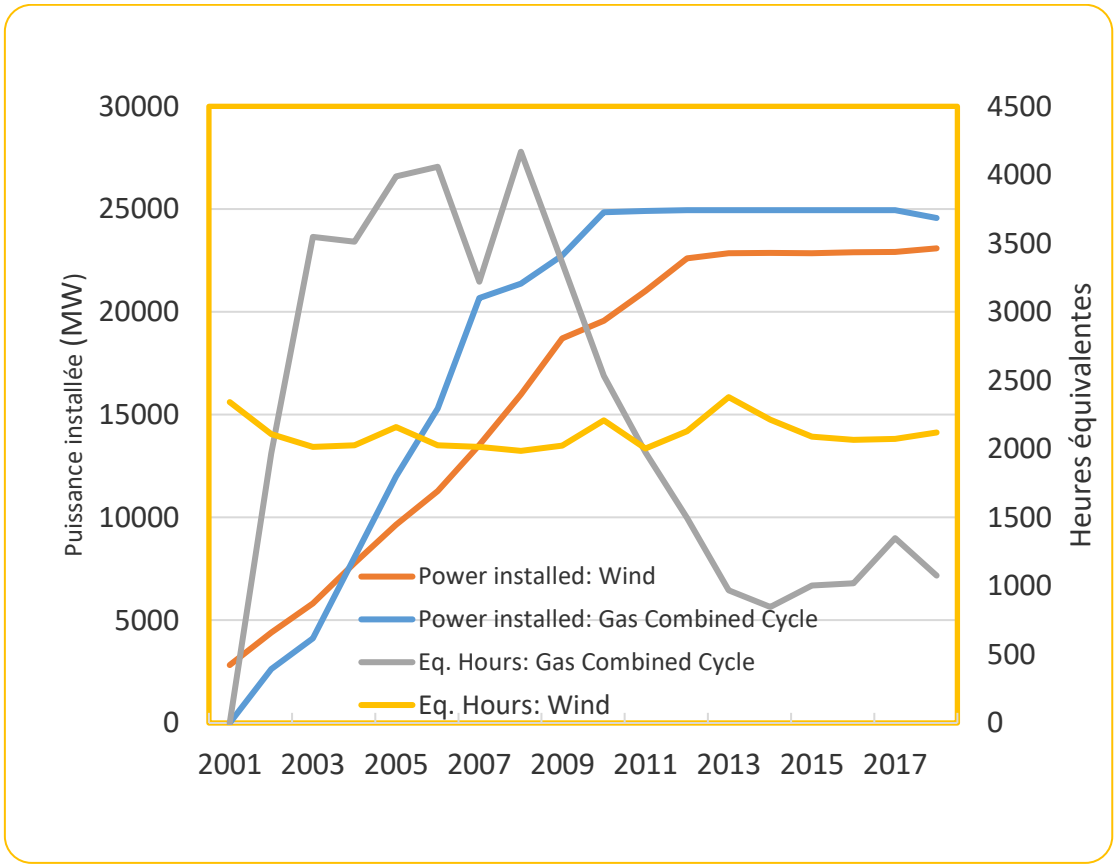
En outre, leur fonctionnement est coûteux. Bien que la plupart des centres de production utilisant des combustibles fossiles aient des coûts d'installation faibles ou modérés (€/kW), leur coût pris sur l'ensemble du cycle de vie est souvent très élevé en raison du prix du combustible. Il est même actuellement supérieur au coût de tout le cycle de vie des sources d'énergie renouvelable (Ernest & Young 2012) (IRENA 2018), sans compter qu'il est sujet aux variations de prix des combustibles fossiles.

La surveillance et le fonctionnement d'un réseau complexe posent également des problèmes. Pour répondre à la demande variable dans les conditions adéquates de continuité et de la stabilité de l'approvisionnement, des systèmes stables et synchrones doivent garantit un état pratiquement constant de fonctionnement, avec une variation très faible (50 Hz + 0, 5 Hz) et une tension pratiquement constante comprise dans des marges définies et avec une forme d'onde adéquate. Pour contrôler ces paramètres, il convient de garantir que les valeurs de puissance active et réactive sont toujours correctes. Si ces conditions ne sont pas remplies, des déconnexions peuvent se produire à des moments inopportuns et provoquer des coupures de courant. Il est fréquent que de telles coupures de courant surviennent des réseaux faibles ou saturés ; mais elles peuvent également se produire sur les grands réseaux et

toucher d'autres pays, comme ce fut le cas lors d'une panne de courant survenue en novembre 2006 en Allemagne (UCTE 2006). Une défaillance du réseau haute tension priva d'électricité 15 millions d'utilisateurs en Allemagne, en France, en Belgique, aux Pays-Bas, en Italie et en Espagne. En 2003, une autre panne d'électricité survint en Italie (Berezzi 2004) à cause de la chute d'un arbre et toucha 55 millions de personnes en Italie et en Suisse.

Il est également difficile d'intégrer les énergies renouvelables dans le SAE. Les principales sources d'énergie renouvelables qui sont actuellement développées et installées sont la production éolienne et photovoltaïque. Ces sources de production sont reliées au réseau électrique et modifient le comportement habituel du réseau au point de raccordement (Trebolle et al. 2012). Elles n'ajoutent pas d'inertie dans le système, ce qui est le principal moyen de garantir la constance de la fréquence sur le réseau. C'est pour cette raison que la plupart des pays ont choisi d'introduire d'autres sources capables de fournir l'inertie nécessaire pour compenser la perte dans le réseau. La graphique suivante montre qu'en Espagne l'augmentation du nombre d'installations éoliennes a été accompagnée d'une augmentation encore plus importante de la production des centrales à cycle combiné (CCG), ce qui apporte de l'inertie dans le réseau.

GRAPHIQUE 2: PUISSANCE INSTALLÉE EN ESPAGNE ET HEURES ÉQUIVALENTES D'ÉNERGIE EOLIENNE ET CCG.



Source: élaboration propre à partir de données de REE.

Mais soulignons que le nombre d'heures équivalentes de GCC a été ramené à un minimum de 846 heures en 2014, ce qui s'est produit parallèlement à l'augmentation de la production photovoltaïque. Cela montre donc que cette inertie virtuelle n'est plus nécessaire, du moins pas en continu. De plus, le faible nombre d'heures de fonctionnement signifie que ces installations subissent des pertes.

En outre, il ressort des données annuelles publiées par l'entité espagnole TSO - REE que, par rapport à 2001, l'installation d'électricité non renouvelable a augmenté de 50% et que la production de ces générateurs a chuté de 8%. D'autre part, l'augmentation de la capacité renouvelable installée est de 150% et la production d'énergie renouvelable a augmenté de près de 104%. La quantité moyenne d'énergie utilisée en 2018 par un SAE espagnol est de 27 GW, et le pic maximum atteint a été de 40,95 GW.

On comprend donc facilement qu'il est essentiel de modifier et de moderniser le SAE. L'un des principaux objectifs de toute mesure de modernisation devrait être d'augmenter la pénétration des énergies renouvelables afin de parvenir à un scénario dans lequel 100% de l'énergie utilisée provient de sources renouvelables, ce qui entraînerait les avantages qui en découlent: baisse de la dépendance énergétique et réduction des émissions polluantes. Parmi les autres objectifs figurent l'approvisionnement constant en énergie et la réduction les coûts d'infrastructure et d'exploitation. Pour ce faire, divers concepts novateurs font l'objet de débats, comme la production décentralisée, le réseau intelligent et les mini-réseaux. Nous allons à présent expliquer sommairement ces concepts.

Le nouveau système d'alimentation électrique

Comme nous venons de le voir, une transformation radicale du SAE est nécessaire. Le premier objectif est d'accroître la pénétration des énergies renouvelables (ER). L'une des principales différences entre les systèmes fossiles et les ER est que ces derniers doivent être situés à l'endroit où la ressource est optimale. Dans le cas de l'énergie solaire, on pourrait dire qu'elle peut être utilisée pratiquement partout. Ce n'est en revanche pas le cas pour l'énergie éolienne et hydraulique. D'autre part, l'avantage des énergies renouvelables réside dans le fait que l'on peut mettre en place des installations de centaines de watts jusqu'à des MW, et qu'elles peuvent être situées dans des villes et des villages: maisons, immeubles, centres commerciaux et parcs. Elles peuvent être installées dans des installations industrielles ou dans de grandes entreprises, c'est-à-dire à proximité des points de consommation, ce qui réduit ainsi considérablement les pertes dues au transport et le coût de l'infrastructure correspondante. C'est le concept de base de la production décentralisée.

Il n'existe pas de définition unique du concept de production décentralisée (Thomas et al. 2001), en particulier en ce qui concerne les systèmes de production d'énergie, la

tension à laquelle ils fonctionnent, l'endroit où ils se connectent et même la technologie de production qu'ils utilisent (IEEE Std 1457 TM; DOE 2003; EPRI 2003; AIE 2002; Directive 2003/54/CE du Parlement européen; EPA 2019).

Cependant, on peut dégager quelques grandes caractéristiques de la production décentralisée: elle est généralement générée à proximité des points de consommation ; elle est de préférence d'origine renouvelable (mais pas seulement) ; elle fonctionne à moyenne ou basse tension ; et elle inclut également des systèmes de stockage. Les systèmes de production décentralisée et de stockage qui constituent ensemble des Ressources énergétiques distribuées («Distributed Energy Resources», DER) peuvent fonctionner lorsqu'ils sont reliés au réseau de distribution ou de manière isolée.
La production décentralisée présente de nombreux avantages qui la rendent intéressante. L'aspect le plus important est que le niveau d'émissions polluantes est nettement inférieur, tout comme la dépendance énergétique. Les systèmes sont plus rapides à construire et les coûts d'installation sont moins élevés ; il est donc plus facile de planifier les investissements et les risques financiers sont moins grands. En termes de fonctionnement, la production décentralisée s'adapte plus facilement à la demande et le risque de panne technologique ou de panne générale est moins élevé. Les systèmes peuvent fonctionner en étant raccordés au réseau, auquel cas la maintenance et le transport sont plus économiques, ou de manière autonome. Enfin, le dernier avantage de la production décentralisée est qu'elle crée des emplois hautement qualifiés au niveau local et améliore donc l'économie locale.

Cependant, pour que la production décentralisée devienne une réalité, l'exploitation des ressources énergétiques et la connexion des systèmes de production d'énergie renouvelable au réseau, de manière isolée ou interconnectée, doivent être améliorées. Il est également fondamental que le problème du caractère aléatoire des sources renouvelables soit résolu et que la prévision de la production et de la demande soit améliorée. Enfin, il est évident qu'une adaptation des réseaux de transport et de distribution est nécessaire.

Comme nous l'avons déjà indiqué, le réseau électrique n'est pas prêt pour un déploiement massif d'énergie décentralisée. Le réseau électrique actuel doit donc être adapté et modifié, aussi bien en termes de transport que de distribution. À cet égard, deux grands concepts ont été mis en avant (Blarke & Jenkins 2013): le super-réseau et le réseau intelligent.

Le super-réseau tel qu'il est envisagé devrait couvrir une zone supranationale et fonctionner en courant continu haute tension (CCHT) ; d'autres réseaux devraient y être intégrés et en théorie, il serait capable d'absorber toute la production d'énergie renouvelable sans aucun système de stockage, ni technique de gestion de la demande. En résumé, son objectif est de renforcer l'actuel système centralisé en développant des technologies permettant une plus grande capacité de transport.

Le réseau intelligent quant à lui transforme complètement le concept de réseau tel qu'il existe actuellement, à la fois en termes de distribution et de transport. Parmi les nombreuses définitions du réseau intelligent, celle que l'on trouve dans le S*mart Grid Dictionary* (Hertzog 2010) est peut-être la plus intéressante. Selon cet ouvrage, un réseau intelligent est un «réseau de communication électrique et bidirectionnel qui améliore la fiabilité, la sécurité et l'efficacité du système électrique pour la production, le transport, la distribution et le stockage d'énergie de petite à grande échelle». On peut également citer la définition donnée par le *Groupe de travail de la Commission européenne sur les réseaux intelligents*, selon laquelle le réseau intelligent est «un réseau électrique capable d'intégrer efficacement les comportements et actions de tous les utilisateurs qui y sont raccordés (producteurs, consommateurs, et utilisateurs à la fois producteurs et consommateurs) afin de constituer un système rentable et durable, présentant des pertes faibles et un niveau élevé de qualité et de sécurité d'approvisionnement».

Schématiquement, un réseau intelligent utilise les dernières technologies disponibles et en développe d'autres qui sont nécessaires pour contrôler et gérer efficacement les millions de nouveaux systèmes de production et de stockage, de tous niveaux de puissance, qui devraient être raccordés au réseau, afin que l'énergie puisse circuler dans n'importe quelle direction en toute sécurité, efficacement et au plus bas coût possible. Parmi les nouveaux éléments à prendre en compte, le véhicule électrique a récemment fait son apparition dans le cadre du réseau intelligent.

TABLEAU 5: PRINCIPALES CARACTERISTIQUES D'UN RESEAU INTELLIGENT	
FLEXIBLE	– Il doit être flexible et adaptable afin de répondre aux besoins changeants du système électrique – Il doit être bidirectionnel afin de permettre une circulation bidirectionnelle consommateur-fournisseur de l'électricité
INTELLIGENT ET SÛR	– Il doit être capable de fonctionner et de se protéger facilement et en toute sécurité, que ce soit en cas de panne opérationnelle, de catastrophe naturelle, d'attaque sur les infrastructures ou de cyberattaques ; – Il doit permettre d'anticiper et de répondre aux interruptions dans le système, via la réalisation d'autoévaluations continues pour détecter, analyser, répondre et, le cas échéant, restaurer des composants ou sections du réseau ; – Il doit garantir que toutes les informations nécessaires sont disponibles en temps réel
EFFICACE	– Il doit utiliser les actifs de manière intensive et sûre – Il doit satisfaire aux besoins en énergie tout en minimisant la nécessité de nouvelles infrastructures
OUVERT	– Il doit intégrer les énergies renouvelables et les systèmes de stockage avec des connexions rapides en toute sécurité ; – Il doit intégrer le véhicule électrique avec la technologie V2G ; – Il offre de nouvelles opportunités commerciales: nouveaux services, nouveaux marchés et nouveaux produits ; – Il permet la participation active du consommateur et du «prosommateur»
DURABLE	– Il doit respecter l'environnement et être essentiellement fondé sur la production d'énergie renouvelable ; – Il doit être accepté par la société.
Source: (Carbajo 2011)	

Les avantages attendus des réseaux intelligents sont nombreux (Carbajo 2010, DOE/NETL-2010, NIST 2014, Asmus et al. 2012). Premièrement, ils constituent une amélioration en termes de sécurité et de qualité de l'approvisionnement du réseau électrique: le système sera extrêmement sensible, automatisé et connecté, et possèdera une capacité de reporting en temps réel. Il réduira la fréquence et la durée des interruptions d'alimentation, ainsi que les risques de coupures de courant et les fluctuations de la qualité de l'énergie. Toute panne sera traitée rapidement grâce à la capacité du système à détecter l'emplacement exact du dysfonctionnement et à la gestion automatique du réseau. En cas de panne du réseau, l'approvisionnement pourra être maintenu de manière isolée. Il répondra à la demande, en prévoyant la demande aux points de production et en optimisant ainsi l'utilisation des sources renouvelables. Il peut également améliorer l'alimentation des réseaux saturés ainsi que des réseaux plus faibles, afin d'augmenter ou de diminuer la puissance consommée, notamment des systèmes de production et de stockage autochtones, ainsi que la gestion de l'énergie réactive. Le risque de piratage sera également réduit. En outre, les réseaux intelligents garantissent un meilleur niveau de sécurité pour les employés, car si les interruptions de l'approvisionnement sont moins nombreuses, les interventions nécessaires diminuent et avec elles les risques pour les techniciens.

Les réseaux intelligents offrent également des avantages économiques pour le SAE. L'augmentation du nombre d'installations de production d'énergie renouvelable crée des opportunités commerciales en matière de production décentralisée et de stockage d'énergie. Ils évitent le surdimensionnement des infrastructures et améliorent l'efficacité d'utilisation des installations, lesquelles fonctionnent à un niveau optimal garantissant une baisse des coûts d'exploitation et d'entretien. Ils évitent les de pertes dues au transport et, attendu qu'il y a moins d'interruptions, les pénalités diminuent. Moins d'interruptions signifie également une hausse des revenus pour les producteurs et une baisse des coûts d'entretien, puisque les systèmes fonctionnent de manière plus constante, ce qui facilite la gestion de la «santé» de l'ensemble. Cela a pour effet d'accroître la durée de vie utile des actifs du système. La productivité des employés devrait également augmenter car ces derniers disposeront d'informations de meilleure qualité et cela permettra d'améliorer les processus d'exploitation et d'entretien. L'apparition de nouveaux modèles commerciaux, de nouveaux produits et de nouveaux services dans le concept de réseau intelligent entraînera probablement à une plus grande compétitivité et ouvrira de nouveaux marchés qui génèreront des revenus pour d'autres concepts inédits tels que des services de flexibilité ; l'une des grandes sources de revenus qui apparaîtra probablement sera la vente de véhicules électriques. En outre, il est fort probable que l'on assiste à une baisse des coûts dus aux pertes non techniques et des frais de gestion et de facturation des clients. Un niveau élevé d'interaction avec les clients, y compris par le biais de mécanismes de gestion active de la demande, permettra probablement de mieux prévoir l'utilisation des infrastructures.

Pour le consommateur, les réseaux intelligents sont synonymes de niveaux de satisfaction plus élevés (en raison de l'amélioration du service) et de réduction des coûts dus aux interruptions de service qui touchent les processus de production, la conservation des aliments, etc. ; sans compter le fait que le réseau utilisera leurs propres sources renouvelables. Les consommateurs seront mieux informés quant aux prix de l'énergie, ce qui leur permettra de prendre des décisions éclairées à propos de leur propre consommation et donc d'en tirer un avantage économique. Ils pourront également installer leur propre système de production et de stockage, et vendre leurs excédents d'énergie, non seulement au réseau, mais aussi à des tiers, à savoir le «prosommateur». Les conditions de développement devraient s'améliorer, permettant ainsi à l'offre d'atteindre les zones les plus défavorisées (rurales, isolées ou saturées). Les consommateurs peuvent s'attendre à une augmentation de la durée de vie de tout équipement connecté au réseau grâce à l'amélioration de la qualité de l'onde. Il sera facile de recharger des voitures électriques et des objets équipés de la technologie V2G.

Les réseaux intelligents offrent d'immenses avantages pour toute la société. Des emplois liés aux nouvelles technologies seront créés, notamment dans les zones

rurales où les systèmes de production d'énergie renouvelable seront installés. La qualité de la vie sera améliorée dans les régions où les réseaux sont faibles, ce qui multipliera les possibilités de croissance et de création de nouvelles entreprises. On peut également prévoir une amélioration de la balance commerciale grâce à la réduction de la dépendance énergétique. Cela permettra alors de planifier plus facilement l'achat de combustibles fossiles (qui sera encore plus réduit une fois les véhicules électriques déployés) et d'anticiper les variations de prix. Le pays pourra plus facilement planifier des investissements à long terme, réduisant ainsi le risque d'erreur et le coût du système, en particulier dans le cas des grandes centrales et des lignes de transport.

La santé de la population devrait également s'améliorer grâce à la baisse des émissions polluantes. Mais les avantages concernent également l'environnement puisque l'on assistera à une réduction des émissions de gaz à effet de serre à mesure que l'utilisation des énergies renouvelables augmentera et que les VE pourront véritablement être déployés.

Avec les transformations majeures pour les consommateurs que les réseaux électriques impliquent, il est intéressant de mettre en lumière un nouveau concept qui naît des réseaux intelligents et des nouveaux modèles commerciaux: le «prosommateur», un acteur qui est à la fois producteur et consommateur. C'est le nom que l'on donnera aux consommateurs qui possèdent leurs propres installations de production et qui peuvent donc produire de l'énergie, mais aussi la stocker et même la transporter (Muzzi et al. 2013).

La situation que nous venons de décrire est certainement idyllique pour le SAE et pour les prosommateurs. Toutefois, bien que de nombreuses mesures soient adoptées en ce sens, il reste encore beaucoup à faire et beaucoup de technologies à développer.

Les évolutions technologiques nécessaires pour les réseaux intelligents et la production décentralisée

Les réseaux intelligents et la production décentralisée impliquent une transformation du SAE qui donnera lieu à une amélioration essentielle pour l'intégration des énergies renouvelables. Même si les universités, les centres de recherche et les entreprises travaillent depuis de nombreuses années dans cette direction, il reste encore beaucoup à faire. De nombreux travaux de recherche et d'importants progrès techniques demeurent nécessaires pour faire face aux enjeux qui apparaissent chaque jour. La section suivante porte sur les domaines abordés à l'heure actuelle par la recherche.

Nouveaux matériaux

Des travaux sont en cours sur le développement et la commercialisation de nouveaux matériaux permettant d'améliorer les systèmes de stockage, la capacité de transport des lignes électriques ou la performance des dispositifs d'alimentation électrique, entre autres. Dans le cas des dispositifs, il est intéressant de comparer les équipements à large bande interdite au carbure de silicium (SiC), au nitrure de gallium (GaN) et à l'oxyde de gallium, et ceux à base de diamant et de silicium, dont les avantages sont mis en évidence dans le tableau suivant.

TABLEAU 6: MATERIAU ET PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DE DIFFERENTS SEMI-CONDUCTEURS

Propriétés du matériau	**Conventionnel**	**Semi-conducteurs à large bande interdite**				
	Si	4H-SiC	GaN	Ga2O3	Diamant	2H-AlN
Bande interdite Eg [eV]	1,12	3,26	3,39	5,5-4,9	5,45	6,2
Concentration intrinsèque ni [cm-3]	1,5 x 1010	8,2 X 10-9	1,9 x 10-10	2,6 x 10-19	1,6 x 10-27	10 x 10-34
Constante diélectrique Ɛr	11,8	10	9,9	10	5,5	8,5
Mobilité des porteurs µn [cm2/Vs]	1350	720-650	1000-2000	300	2800	300
Champ de claquage Ec [MV/cm]	0,25	2	3,3-3,75	8	10	12
Vitesse de glissement à la saturation Vsat [107 cm/s]	1	2	2,5	-	2,7	1,2
Conductivité thermique [W/cm.K]	1,5	4,5	2,50-4,1	0,13-0,21	22	2,85
Température maximale de fonctionnement Tmax [C°]	125	500	650		700	

Source : (Chow et al. 2017) (Bakowsky 2000)

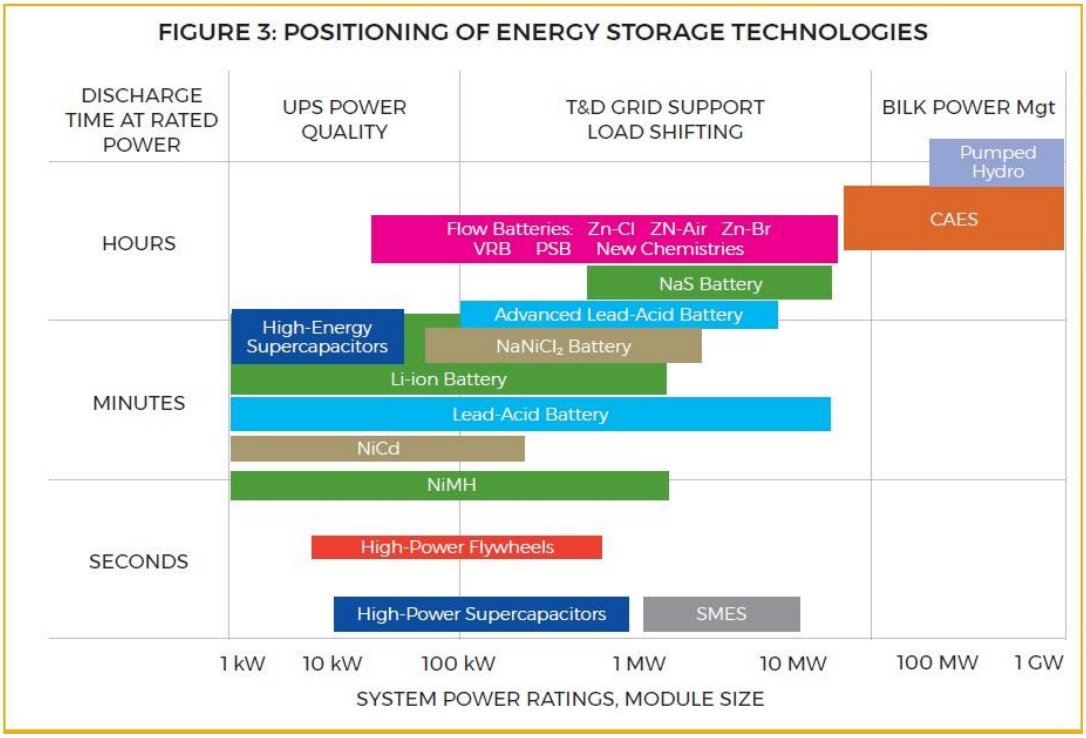
Les dispositifs à large bande interdite peuvent fonctionner à une tension et à une fréquence plus élevées que les appareils à base de silicium, ce qui réduit la taille et le volume des appareils actuels, ainsi que le bruit qu'ils produisent. En outre, ils atteignent des niveaux de rendement compris entre 95% et 99,5% (Armstrong et al. 2016) alors que les dispositifs à base de silicium n'atteignent que 85% à 98%. Cela implique donc

une diminution des pertes pouvant aller jusqu'à 75%. Par conséquent, des dispositifs à large bande interdite très efficaces sont essentiels pour accroître l'efficacité des systèmes de conversion électrique.

Stockage

Le stockage est un élément clé pour la mise en œuvre de la PD et des réseaux intelligents dans la mesure où il permet à la production de fonctionner indépendamment de la demande et où il prend en charge diverses applications à des tensions très différentes (Mahora et al. 2016). En fonction de l'application et de la tension, diverses technologies peuvent être plus ou moins appropriées, mais aucune technologie ne fournit actuellement des conditions d'exploitation optimales à 100% ; c'est donc un sujet qui fait encore l'objet de nombreuses recherches.

GRAPHIQUE 3: POSITIONNEMENT DES TECHNOLOGIES DE STOCKAGE D'ENERGIE



Source: DOE/EPRI 2016

TABLEAU 7: PERFORMANCE ACTUELLE DES PRINCIPALES TECHNOLOGIES DE BATTERIES								
Techno -logie	Densité énergétique Wh/kg (Wh/L)	Densité de puissance W/kg (W/L)	Durée de vie (années)	Cycle de vie (cycles)	Coût actuel			Efficacité aller-retour (%)
					$(€)/kW	$(€)/kWh	$(€)/kWh/ cycle	
PbO2	30-50	75-300	5-15	500-1000	200-300$	120-600$	3,072 €/kWh	65-90
NiCd	45-80	150-300	10-20	1000-2500	500-1500$	800-1500$		>90%
NiMH	60-120	100-300	10	<1000		500$		80%
NiFe	50		20					
NiZn	100	100-200	10-20	<300				70
NiH	40-75	220		>20000				85
Li-ion	75-241 (200-535)	500-2000	5-15	500-2000	1200-4000$	500-1000€	25c€/kWh / cycle	85-90
NaS	150-240 (150-250)	150-230	10-15	2500	1000-3000$	300-500$	8-20$	70-90
NaNiCl	100-120 (150-180)	150-200 (220-300)	10-14	2500+	150-300$	100-200$	5-10$	85-90
VRFB	10-30 (15-25)		5-20	>10000	600-1500$	150-1000$	5-80$	85-90
ZnBr	30-60 (30-60)	100	5-10	>2000	700-2500$	150-1000$	5-80$	70-80
HBr				10000	0,25€/W	80€/kWh	0,05€	
ZnAir	150-3000 (500-10000)	200 W/l			100-250$	10-60$		50-55

Source: (Anke et al. 2016) (SusChem 2017) (Durant et al. 2017) (Becker et al. 2017) (Gallo et al. 2016) (Rohit et al. 2017) (Chen et al. 2009) (Díaz 2012) (Pawel 2014)

L'un des aspects les plus importants de la recherche sur les batteries consiste à découvrir comment réduire le type et la quantité de matières premières critiques difficiles à trouver ou que l'on ne trouve qu'en petites quantités en Europe, telles que le vanadium, le lithium et le cobalt.

Quant à la supraconductivité, elle se caractérise par l'absence de résistance mesurable dans certaines conditions. Trouver un matériau garantissant l'absence totale de résistance et rendant ainsi les pertes par conduction négligeables entraînerait de grands avantages en termes de transport et de distribution de l'énergie électrique, pour les transformateurs et les machines (Doukas 2019). Par exemple, des recherches sont actuellement en cours sur supraconducteurs à haute température (HTS en anglais pour «High Temperature Semiconductors») afin de mettre au point des câbles supraconducteurs à haute température permettant la transmission de courant alternatif et continu. Il serait ainsi possible d'utiliser une densité de courant de 5 à 10 fois supérieure à l'équivalent de conduction du cuivre. Une autre application très prometteuse est le stockage d'énergie par champ magnétique (SMEH pour «Superconducting Magnetic Energy Hagar» - Stockage d'énergie magnétique

supraconductrice), qui est obtenu grâce à la circulation d'un courant continu autour d'un anneau supraconducteur refroidi à une température inférieure à la température critique de supraconductivité. L'efficacité de ces systèmes atteint 95% et, même si leur densité de puissance est élevée, leur densité d'énergie est tellement faible qu'elle permet à ces systèmes de concurrencer les supercondensateurs et les volants d'inertie dans le même domaine d'application. L'inconvénient majeur de ces systèmes est qu'ils doivent fonctionner à des températures comprises entre 80 K et 4 K, selon qu'ils utilisent de l'azote liquide, de l'hélium gazeux ou de l'hydrogène liquide.

Technologies avancées

La nécessité d'intégrer les énergies renouvelables et les systèmes de stockage est une question cruciale (Rehmani et. Al 2018). La variabilité et le caractère aléatoire des ER, en particulier l'énergie éolienne et dans une moindre mesure l'énergie photovoltaïque, impliquent que, pour répondre à un certain niveau de demande, une association des deux est essentielle. De même, pour un avenir 100% renouvelable, les deux énergies doivent être complétées par d'autres sources, telles que l'hydraulique ou la biomasse. Parler d'intégration ne signifie pas simplement joindre différentes sources, mais bien comprendre comment elles peuvent être connectées et contrôlées ensemble afin de garantir la stabilité du réseau électrique auquel elles sont raccordées et la sécurité de l'approvisionnement pour le consommateur. Cependant, un avenir 100% renouvelable est inenvisageable sans le développement et l'installation de divers systèmes de stockage garantissant un certain degré d'indépendance entre la production et la demande. Ils compensent en effet la variabilité des énergies renouvelables et fournissent des services complémentaires pour la stabilité du réseau.

Par conséquent, les dispositifs de stockage d'énergie doivent assurer différentes fonctions selon l'échelle temporelle:

- De quelques millisecondes à plusieurs minutes, ils doivent pouvoir répondre à des variations de puissance inopinées susceptibles d'avoir un impact sur le système, se produisant au niveau de la production ou de la consommation. Ils doivent pour cela être capables de modifier la tension et/ou la fréquence essentiellement au moyen de supercondensateurs, de SMEH ou de volants d'inertie.
- De quelques minutes à plusieurs heures, ils doivent également assurer une inertie virtuelle dans le réseau pendant une période plus longue afin de maintenir les valeurs de tension et de fréquence dans les limites. Ils doivent aussi garantir la continuité de l'approvisionnement, gérer la variabilité des énergies renouvelables et des charges horaires, l'aplatissement de la courbe de la demande, fonctionner de manière isolée en cas de défaillance du réseau, etc. Les batteries électrochimiques, les piles à combustible et le stockage thermoélectrique sont des solutions qui répondent à ces exigences.

- De plusieurs heures à quelques jours, ils doivent garantir la continuité de l'approvisionnement qui, outre ce qui précède, permet au système de fonctionner de manière isolée pendant plus longtemps et avec des charges plus importantes, retarde les investissements dans de nouvelles infrastructures ou donne le temps nécessaire pour installer davantage de dispositifs de production renouvelable, etc. Dans ce cas, il s'agit généralement de systèmes hydrauliques de pompage ou de stockage d'énergie par air comprimé (CAES).

Quoi qu'il en soit, la solution optimale est une association des systèmes de stockage et des systèmes renouvelables avec un contrôle intégré garantissant à tout moment la qualité et la sécurité de l'approvisionnement.

La configuration de l'électronique de puissance est fondamentale pour que les systèmes de production d'énergie renouvelable tels que les systèmes éoliens, solaires ou hydrauliques à vitesse variable, puissent être connectés au réseau. Outre les systèmes de stockage, qu'ils soient électrochimiques, électrostatiques ou SMEH, il existe des dizaines de types de charges: véhicules électriques, systèmes d'élévation et d'éclairage, par exemple.

Pour cela, plusieurs configurations en fonction des besoins sont utilisées, avec des convertisseurs CA/CC, CC/CA et CC/CC, qui peuvent être unidirectionnels ou bidirectionnels. Les convertisseurs CC/CC peuvent inclure ou non une isolation galvanique au moyen d'une transformation intermédiaire en CA et d'un transformateur moyenne fréquence (généralement de plusieurs kHz).

Ces composants électroniques doivent garantir le fonctionnement optimal du système à contrôler ainsi que la production d'une onde de qualité du côté du réseau. En maintenant toujours le plus haut niveau d'efficacité possible. La qualité de l'onde devient d'autant plus cruciale que le nombre de systèmes raccordés au réseau augmente. En ce sens, il faut veiller à ce que non seulement le contenu harmonique soit faible, mais également que l'énergie réactive soit toujours proche de zéro, quelle que soit la plage de puissance dans laquelle elle fonctionne.

Il est important de souligner que l'électronique de puissance peut assurer d'importantes fonctions auxiliaires pour le réseau. Par exemple, un convertisseur peut surveiller en permanence la valeur de fréquence et la tension au point de raccordement et gérer la fourniture ainsi que la puissance active et réactive en fonction de la demande. De même, il peut surveiller la forme d'onde et exécuter des fonctions de filtrage pour améliorer cette forme d'onde. Par conséquent, tout système raccordé au réseau via un étage de puissance électronique pourrait remplir certaines des fonctions d'un STATCOM et/ou d'un filtrage d'harmoniques. Pour ce faire, des recherches sont en cours sur de nouvelles configurations, telles que les passerelles

multi-niveaux, avec de nouveaux dispositifs, tels que ceux à base de carbure de silicium, et d'autres techniques de commutation plus efficaces.

L'électronique joue un rôle important dans l'amélioration de la qualité et de la sécurité de l'approvisionnement des réseaux de transport grâce aux systèmes de transmission flexibles en courant alternatif (FACTS pour «Flexible AC Transmission System» en anglais) qui permettent de contrôler les paramètres régissant le fonctionnement des systèmes de transmission (Glanzmann 2005), y compris l'impédance série, l'impédance de dérivation, le courant, la tension, l'angle de phase et amortissement des oscillations.

Les principales fonctions des FACTS (Peng 2017) dans un réseau intelligent sont les suivantes: a) accroître la pénétration des énergies renouvelables ; b) améliorer la capacité de transfert de puissance ; c) prévenir les flux d'énergie indésirables ; d) atteindre une régulation de la tension et un contrôle de la fréquence rapides et dynamiques ; e) partage de puissance entre les lignes en parallèle pour éviter les surcharges ou les sous-charges ; et f) améliorer les marges de stabilité du réseau existant.

Les SST («Solid State Transformer») sont une autre piste de recherche. Il s'agit d'un équipement basé sur l'électronique de puissance qui remplace un transformateur traditionnel (She & Huang 2013) et qui présente de nombreux avantages, notamment la possibilité d'inclure certaines des fonctionnalités des FACTS, un meilleur rendement avec les charges déformées ou non équilibrées, une meilleure compensation du facteur de puissance, l'inclusion d'une protection de topologie, la possibilité d'alimenter des charges avec un décalage CC, la prévention de la propagation des défauts dans le réseau, la possibilité d'être équipés de sorties de courant continu pour intégrer des systèmes de stockage dès le début, etc. L'inconvénient principal du SST est son coût élevé, lequel est voué à diminuer à mesure que le prix des appareils à base de carbure de silicium (SiC) chute.

Véhicules électriques (VE)

Les véhicules électriques (VE), qu'ils soient électriques purs (BEV) ou hybrides rechargeables (PHEV), constituent un autre élément clé du réseau intelligent. Les VE sont une formidable occasion pour réduire des gaz à effet de serre et le déficit de la balance commerciale puisque l'on sait que l'Espagne, la France et le Portugal importent près de 100% du pétrole qu'ils consomment. Cependant, les VE requièrent d'une infrastructure très spécifique pour leur rechargement. Il existe plusieurs modes de charge (IEC 61851, CHAdeMO) allant de la charge lente de 3,7 kW à la charge rapide de 50 kW. TESLA va au-delà en proposant une capacité de charge de 250 kW, et Porche est en train de développer des systèmes de charge ultra rapide de 350 kW. Les bus

devraient même pouvoir être rechargés à une puissance encore plus élevée (ZeEUS 2019).

Pour avoir une idée plus précise de ce que cela signifie pour le réseau, il est peut-être préférable d'adopter une approche plus simple. Un VE à usage privé consomme environ 0,14 kWh/km. Par conséquent, pour un trajet quotidien moyen de 40 km, l'utilisateur aura besoin de 5,7 kWh/jour, soit 2 100 kWh/an pour 15 000 km. Ce chiffre dépasse la moyenne des voyages effectués par les citoyens européens (EEA 2016). Les utilisateurs de VE devraient pouvoir recharger leurs véhicules chaque jour chez eux en utilisant une charge lente de 3,7 kW. Cette consommation est à peu près équivalente à la consommation d'un logement type occupé par deux personnes en Espagne. À première vue, cela n'est pas une quantité démesurée d'énergie.

Mais que se passerait-il en cas de déploiement massif des véhicules électriques? Et si tous les habitants d'un immeuble de 72 logements se procuraient un VE? Si l'on prend un degré d'électrification moyen (5,75 Kw/logement) et que l'on applique les coefficients de simultanéité correspondants, la connexion du bâtiment serait d'environ 245 kW. En supposant que tous les véhicules utilisent une charge lente, la puissance nécessaire pour les 72 véhicules serait de 270 kW, ce qui dépasse la consommation de tout le bâtiment. En extrapolant ces chiffres, il est évident que la demande au niveau de la ville serait multipliée par deux, ce qui entraînerait une augmentation du nombre de centres de transformation et du câblage pour raccorder les points de charge. Cela créerait un réel problème en termes d'infrastructure, tout d'abord en raison des coûts encourus, mais aussi en raison de l'impossibilité de réaliser ces travaux dans les quartiers très peuplés où il n'existe pas de place pour de nouveaux centres de transformation, sans oublier la gêne qu'un tel chantier pourrait engendrer.

Pour poursuivre notre scénario hypothétique, si 100% des véhicules en Espagne étaient électriques (c'est-à-dire tous les types de véhicules), il y aurait plus de 32 millions de véhicules. En maintenant l'hypothèse précédente de puissance de charge et de nécessités de déplacement, qui est certes une approche très simpliste compte tenu de la diversité des véhicules et des utilisations, mais permet de saisir rapidement tout l'enjeu de la question, la puissance totale requise pour la charge simultanée de tous ces véhicules serait de 118,4 GW, soit plus que toute la puissance installée sur la péninsule depuis décembre 2018 (98,7 GW). En ce qui concerne la consommation d'énergie, elle atteindra 67,2 GWh/an, soit une hausse de la demande en électricité de 26,5% en 2018.

Les chiffres précédents montrent que le déploiement des véhicules électriques n'est pas une simple affaire de changement de véhicules, mais qu'il implique plutôt une transformation et une adaptation importantes des réseaux de transport et de distribution de l'électricité à un coût très élevé. En outre, principalement au niveau du réseau de distribution, d'autres problèmes risquent de se présenter et de nuire à la qualité et à la sécurité de l'alimentation électrique, à commencer par les chutes de

tension que peuvent entraîner les charges rapides ou les distorsions harmoniques que créeraient des dizaines de chargeurs connectés au réseau à un même point.

Cependant, les avantages du VE, à la fois en termes d'impact sur l'environnement et d'équilibre économique attendu que les pays importent 100% du pétrole qu'ils utilisent, sont indiscutables.

Cela signifie-t-il donc que nous nous trouvons dans une impasse? Loin de là. Cela signifie simplement que les voitures électriques ne doivent plus être considérées comme de simples voitures. Le VE va devenir un maillon essentiel du réseau électrique et devra être considéré comme tel.

Du point de vue du réseau, le véhicule électrique est une batterie avec des roues qui se connecte au réseau électrique plus de 95% du temps dans de nombreux cas. Il est très prévisible en termes de comportement: on sait où il se trouve et où il se trouvera dans les heures qui suivent. Il est possible de savoir quel est le niveau de charge des batteries et quel est le niveau d'énergie dont le conducteur aura besoin pour son prochain voyage. Cette batterie peut donc être utilisée de sorte à permettre une gestion optimale des flux d'énergie sans saturer le réseau et même en garantissant la qualité et la sécurité de l'approvisionnement.

Un déploiement ordonné implique divers paramètres.

- La nécessité de gérer le chargement en fonction des conditions du réseau, en particulier dans les bâtiments privés et publics où la puissance de charge du véhicule doit être régulée en temps réel en fonction d'autres consommations d'énergie.
- Le déploiement de chargeurs rapides qui suppriment l'anxiété associée à une panne de batterie et permettent de recharger rapidement les batteries tout en limitant l'impact sur le réseau, ce qui limite la possibilité d'installation et augmente les coûts dus à l'augmentation de la puissance utilisée. Pour résoudre ce problème, il est nécessaire de mettre au point des solutions incluant la gestion du chargement en temps réel, l'intégration aux systèmes de stockage et aux énergies renouvelables ainsi qu'une électronique de puissance plus efficace avec un contenu moins harmonique et silencieux.
- Le développement de technologies de chargement plus faciles à utiliser, pour lesquelles l'utilisateur serait peu taxé et ne nécessitant pas de câbles. À cet égard, le chargement par induction est une solution très intéressante, à la fois pour les faibles niveaux de puissance pour l'utilisateur final et pour les niveaux de puissance élevés qui garantiraient le chargement d'opportunité et même le chargement dynamique.
- L'amélioration de l'interaction entre l'utilisateur, les infrastructures et l'opérateur du réseau, afin que l'utilisateur reçoive des informations de manière simple, facile et transparente à propos du coût du chargement, des offres

disponibles, etc.

- La batterie du véhicule peut être utilisée en tant que support de réseau (Zhoy & Li 2015) si l'on y ajoute de l'énergie, afin d'améliorer la stabilisation (V2G) ou si l'on fournit des charges isolées (V2L), voire en rechargeant d'autres véhicules (V2V).

Les véhicules électriques sont pour nous d'une part une opportunité de réduire les gaz polluants et la dépendance énergétique, et d'autre part de constituer un produit de base qui encourager la recherche de nouvelles méthodes de stockage, améliorant ainsi leurs performances et réduisant leurs coûts. De plus, quand la batterie devient incapable d'atteindre 80% de sa capacité nominale pendant les charges, elle pourra être extraite et utilisée comme support de réseau ou pour une utilisation domestique (c'est ce que l'on appelle la deuxième vie de la batterie). Cela lui confère une valeur résiduelle importante et réduit également le coût de du VE.

Remarques finales

Il est évident que les nouvelles technologies logicielles et les communications avancées sont les piliers d'une transformation fondamentale et un élément clé du réseau intelligent. Le fonctionnement du réseau intelligent repose sur la possibilité d'une communication bidirectionnelle avec les millions d'appareils et de capteurs connectés et, dans de nombreux cas, sur l'envoi de commandes de fonctionnement. Il est donc essentiel de mettre au point des protocoles et des programmes informatiques garantissant cette communication et cette gestion en temps réel où que ce soit.

De tous les services que les technologies de l'information et de la communication (TIC) doivent fournir, les plus importants sont peut-être l'automatisation du réseau moyenne tension, le contrôle et le fonctionnement du réseau de distribution, les infrastructures pour les compteurs intelligents, la détection des pertes techniques et non techniques, la gestion du chargement des véhicules électriques et l'assistance pour la gestion de la demande.

Pour ce faire, les principales caractéristiques que les technologies et protocoles des TIC doivent avoir sont la flexibilité, de sorte à pouvoir intégrer les services, technologies et protocoles futurs ; l'évolutivité, afin de garantir le raccordement avec des millions de points (dans le réseau et avec les utilisateurs) ; un raccordement facile, pour que les nouveaux raccordements fonctionnent automatiquement et soient reconnus par le centre de contrôle et l'environnement immédiat ; une forte disponibilité, pour surveiller et répondre à la qualité requise par les services ; l'indépendance technologique avec plusieurs fournisseurs pour chaque solution ; et enfin un niveau élevé de sécurité, avec la possibilité d'inclure des mécanismes de sécurité des

informations et d'améliorer la sécurité physique des systèmes, évitant ainsi les cyber-attaques visant à voler des données ou à compromettre la sécurité du service.

La nouvelle infrastructure de compteurs intelligents (AMI, «Advanced Metering Infrastructure»), déjà implantée dans toute l'Europe, est un concept intéressant. Cette configuration de mesure se compose d'un ensemble d'éléments, y compris des compteurs intelligents, qui communiquent avec des unités de concentration des données (DCU), lesquelles envoient les données agrégées à un système de tête de réseau (HES). Le HES est un logiciel qui reçoit les données des compteurs intelligents et envoie des commandes DSO aux compteurs intelligents. Les données sont traitées par le système de gestion des données des compteurs (MDMS) et ensuite utilisées pour certaines applications de services publics comme la facturation, le service à la clientèle, etc. La communication est donc bidirectionnelle et utilise les réseaux WAN, NAN/ FAN et HAN (Ahuja A. et al. 2017).

Cela permet notamment de réduire les coûts et les erreurs de mesure de la consommation d'énergie, de détecter les pertes non techniques, de connaître rapidement la consommation et de mieux estimer la courbe de la demande, de reconnecter et de restaurer rapidement le service aux clients après une panne, de savoir quelle est la qualité du réseau de distribution, de détecter les zones surchargées dans le réseau de distribution et de proposer des tarifs horaires.

À la lumière de ce qui précède, il est évident que des dizaines de milliers, voire des millions, de systèmes devront être gérés, ce qui implique un niveau de complexité énorme. Pour simplifier la tâche, il serait possible d'envisager de regrouper les consommateurs et les générateurs au sein d'un mini-réseau. Un mini-réseau se compose d'un ensemble de chargeurs, de générateurs et de systèmes de stockage qui fonctionnent comme un seul système contrôlable pour fournir de l'énergie électrique à une zone déterminée (Kumar, A. et al. 2018). Ils peuvent être raccordés à un réseau, fonctionner de manière isolée ou les deux.

L'interconnexion des systèmes au sein du mini-réseau peut se faire de manière synchrone en courant alternatif ou asynchrone en courant continu (Bryan 2004). Dans le dernier cas, le seul impératif est de contrôler la tension et le courant dans le bus DC et donc, sans puissance réactive, de contrôler la fréquence ou de synchroniser les équipements. Le contrôle du système est donc beaucoup plus simple et le réseau est plus stable. En outre, cette solution réduit le nombre de configurations électroniques de puissance et augmente l'efficacité. L'inconvénient majeur est que comme le réseau est actuellement synchrone, peu de charges sont préparées pour ce type d'intégration.

Le mini-réseau devrait être équipé d'un contrôleur qui communiquera avec chacun des éléments connectés et des différents capteurs, recevra les informations et générera un signal de sortie en temps réel. Le rôle du contrôleur du mini-réseau pourra varier en fonction des préférences de l'utilisateur. Son but pourra être de réduire les factures

d'électricité, de maximiser la production d'énergie renouvelable ou de minimiser l'énergie consommée par le réseau général, par exemple. Toutefois, l'alimentation des consommateurs devra toujours primer. Pour que ce soit effectivement le cas, il enverra des instructions aux systèmes de génération et de stockage et pourra même déconnecter certaines charges.

Le regroupement des systèmes en mini-réseaux permet au système de gestion du réseau général de réduire le nombre de composants à contrôler, puisqu'il n'y aura qu'un seul interlocuteur (le contrôleur du mini-réseau) et non pas une multitude d'éléments redondants.

De nombreux autres développements technologiques sont en cours pour améliorer les mini et micro sources de production: photovoltaïque (NREL 2019) (Sing et al. 2018), mini-éolien (Bukala. et al. 2016) (Kishore et al. 2013), énergie houlomotrice (Faiad et al. 2018) pour n'en citer que quelques-uns. Les systèmes de micro-cogénération et de micro-trigénération (Al Moussawi et al. 2016) sont également intéressants puisqu'ils tirent parti de la chaleur résiduelle d'un moteur thermique pour produire de l'eau chaude sanitaire et du chauffage (ainsi que de la climatisation dans les systèmes de trigénération) pendant la production d'électricité. À ce sujet, des recherches sont en cours sur les turbines à vapeur, les micro-turbines à gaz, les micro-moteurs à combustion interne et les moteurs Sirling (Ahmadi et al. 2017). De même, de grands progrès ont été réalisés au niveau de l'utilisation et de la production d'hydrogène (Dincer 2012) (Hosseini & Wahid 2016), ainsi que de son stockage (DOE 2017) et pour les piles à combustible (E4tech 2018).

Cependant, compte tenu des contraintes d'espace, il n'est pas possible d'aborder tous ces sujets et de nombreux autres, qui laissent tous entrevoir un avenir très prometteur, avec d'importants enjeux techniques qui conduiront sans aucun doute à un SAE plus efficace, durable et non polluant, et dans lequel les consommateurs auront un rôle central à jouer.

Références

AEMA 2016 "Señales de la AEMA 2016" https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2016/articulos/el-transporte-en-europa-datos

Ahmadi M, Ahmadi M, Pourfayaz F, "Thermal models for analysis of performance of Stirling engine: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 68, Part 1,2017, Pages 168-184.

Ahuja A. et al. "Smart grid Handbook for Regulators and Policy Makers". *Indian smart grid Forum/ Shakti Sustainable Energy Foundation. 2017*

Al Moussawi H., Fardoun F., Louahlia-Gualous H. "Review of tri-generation technologies: Design evaluation, optimization, decision-making, and selection approach". Energy Conversion and Management. Elsevier 15 July 2016

Aneke M. and Wang M. (2016), Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review, Applied Energy, 179, 350-377.

Armstrong K.., Das S., and Cresko J., “Wide bandgap semiconductor opportunities in power electronics”, *2016 IEEE 4th Workshop on Wide Bandgap Power Devices and Applications (WiPDA)*

Asmus, P, Lockhart B, Stroher N, Bae A, Gohn B. “Smart grid: Ten Trends to Watch in 2012 and Beyond”. *Pike Research LLC 2012*

Bakowski, M. “Roadmap for SiC Power Devices,” Journal of Telecommunications and Information Technology,vol.3.4,pp19-30 2000

Banque mondiale (2019) Transmisión de energía eléctrica y pérdidas en la distribución (% de producción)

Becker B.; Gil Bardají M. E.; Durant J-M., Clerens P., Noe M. (2017) “European Energy Storage Technology Development Roadmap” Joint EASE/EERA 2017.

Berizzi, A. (2004). “The Italian 2003 blackout”. 1673 - 1679 Vol.2. 10.1109/PES.2004.1373159.

Blarke MB, Jenkins BM. Super grid or smart grid: Competing strategies for large-scale integration of intermittent renewables? Energy Policy 2013;58:381–90. http://dx.doi.org/ 10.1016/ j.enpol.2013.03.039

Bryan J., Duke R. and Round S., "Decentralized generator scheduling in a nanogrid using DC bus signaling,"IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2004., Denver, CO, 2004, pp. 977-982 Vol.1.

Bukała J., Damaziak K., Kroszczyński K., Malachowski J., Szafrański T., & Tomaszewski M.& R. Karimi H., Jozwik K., Karczewski M., & Sobczak K., (2016). “Small Wind Turbines: Specification, Design, and Economic Evaluation”. 10.5772/62821.

Carbajo. “Las redes eléctricas inteligentes: Seguridad, estabilidad y sostenibilidad del sistema” (2011). Issu de: https://slideplayer.es/slide/1056690/

CHAdeMO: https://www.chademo.com/

Chen H., Cong T.N., Yang W., Tan C., Li Y., Ding Y. “Progress in electrical energy storage system: a critical review.” Progress in Natural Science Volume 19, Issue 3, 10 March 2009, Pages 291-31210 March 2009, Pages 291-312

Chow T. P., Omura I., Higashiwaki M., Kawarada H., and Pala V., “Smart power devices and ICs using GaAs and wide and extreme bandgap semiconductors,” IEEE Trans. Electron Devices, vol. 64, no. 3, pp. 856–873, 2017.

Comillas (2019) https://www.comillas.edu/Documentos/BP/sankey_energy.html

Díaz-González, F., et al. (2012) “A review of energy storage technologies for wind power applications’, Renew. and Sust. Energy Rev., vol. 16, no. 4, pp. 2154–2171

Dincer I. “Green methods for hydrogen production”. Int J Hydrogen Energy, 37 (2012), pp. 1954-1971

Directive 2003/54/CE du Parlement européen et du Conseil du 26 juin 2003 concernant des règles communes pour le marché intérieur de l'électricité et abrogeant la directive 96/92/CE

DOE (April, 2017) “Hydrogen storage” https://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage

DOE/EPRI (2016) Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA

(https://www.google.com/search?q=positioning+of+energy+storage+technologies+2017&rlz=1C1TEUA_esES837ES837&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=LGJ--G-BoZudgM%253A%252C2L2M44OJ7445WM%252C_&vet=1&usg=AI4_-kRoxPnCjgAHOIAUJQKXsXazspWQsg&sa=X&ved=2ahUKEwiCxpuwjariAhUSQBoKHd_3Cn8Q9QEwAHoECAkQBA#imgrc=LGJ--G-BoZudgM:&vet=1)

DOE/NETL-2010/1413 "Understanding the Benefits of the smart grid Implementation Strategy" June 18, 2010

Doukas D. .I "Superconducting Transmission Systems: Review, Classification, and Technology Readiness Assessment" *IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 29, no. 5, august 2019*

Durant J.M., Duarte M. and Clerens P., "Recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap Towards 2030". Joint EASE/EERA

E4tech 2018 "The Fuel Cell Industry Re DOE. http://www.fuelcellindustryreview.com/

ENTSO-E ELECTRICITY IN EUROPE 2017. Synthetic overview of electric system consumption, generation and exchanges in 34 European countries

ENTSO-E Inventory of generation

EPA United States Environmental Protection Agency https://www.epa.gov/energy/distributed-generation-electricity-and-its-environmental-impacts 2019

Ernest & Young 2012 "Analysis of the value creation potential of wind energy policies. A comparative study of the macroeconomic benefits of wind and CCGT power generation". https://www.edpr.com/sites/default/files/portal.edpr/documents/ey_acciona-edp_value-creation-of-wind-policies-summary-02081211.pdf

EU Commission Task Force for smart grids. Expert Group 1: Functionalities of smart grids and smart meters (2010)

European Academies Science Advisory Council.. Valuing dedicated storage in electricity grids. EASAC policy report 33 (May 2017).

Commission européenne. "EU energy in figures. Statistical pocketbook 2018" ISSN 2363-247X

EUROSTAT (2016) Energy dependence (source: EEA)

EUROSTAT (2016) Greenhouse gas emissions by sector (source: EEA)

Faiad A. A. and Gowaid I. A., "Linear generator technologies for wave energy conversion applications: A review," *2018 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, Glasgow, 2018, pp. 1-6.

Gallo, A.B., et al., Energy storage in the energy transition context: A technology review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 65 (Supplement C): p. 800-822.

Glanzmann, G. (2005). FACTS: flexible alternating current transmission systems.

Hertzog, C., 2010. Smart grid Dictionary, second ed.

Hosseini S., Wahid M. "Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: promising green energy carrier for clean development" Renew Sustain Energy Rev, 57 (2016), pp. 850-866

IAEA/NEA (2018) Nuclear Energy Agency and International Atomic Energy Agency 2018 “Uranium Resources, Production and Demand” http://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2018/7413-uranium-2018.pdf

IEC 61851:2017 Electric vehicle conductive charging system

IEEE Application Guide for IEEE Std 1547™, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems

Agence internationale de l’énergie (AIE) Distributed Generation in Liberalized Electricity Markets. OCDE/AIE, Paris, France, 2002.

IRENA 2018: “Renewable Energy Statistics 2018”: https://www.irena.org/publications/2018/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2018

Kishore R., Coudron T., Priya S.J., (2013). “Small-scale wind energy portable turbine (SWEPT)”. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 116. 21-31. 10.1016/j.jweia.2013.01.010.

Kumar, A., M Akbar Hussain. D, Zafar Ullah Khan,M. . (2018). Microgrids Technology: A Review Paper. Gyancity Journal of Electronics and Computer Science. 3. 11-20. 10.21058/gjecs.2018.31002.

Malhotra A., et al. (2016), Use cases for stationary battery technologies: A review of the literature and existing” projects, RSER, 56, 705-721.

Muzi F., De Lorenzo M. G. and De Gasperis G., "Intelligence Improvement of a "Prosumer" Node through the Predictive Concept," 2012 Sixth UKSim/AMSS European Symposium on Computer Modeling and Simulation, Valetta, 2012, pp. 311-316.

NIST Special Publication 1108r3 “NIST Framework and Roadmap for smart grid Interoperability Standards, Release 3.” http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1108r3

NREL 2019: https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html

Pawel . I; (2014).“The Cost of Storage – How to Calculate the Levelized Cost of Stored Energy (LCOE) and Applications to Renewable Energy Generation (€/kWh/cycle)” *Energy Procedia Volume 46, 2014, Pages 68-77*

Peng, F. Z "Flexible AC Transmission Systems (FACTS) and Resilient AC Distribution Systems (RACDS) in smart grid", *Proceedings of the IEEE, vol. 105, no. 11, pp. 2099-2115, 2017.*

Porche: https://www.teslarati.com/porsche-taycan-charging-time-2x-faster-tesla-superchargers/

Raj Singh U., Kumar A., “Review on solar Stirling engine: Development and performance”. Thermal Science and Engineering Progress. Volume 8, 2018, Pages 244-256,

RED Electrica de España (2019) “emisiones de CO_2 asociadas a la generación anual nacional”

Rehmani M. H., Reisslein, M., Rachedi A., Erol-Kantarci and Radenkovic M., "Integrating Renewable Energy Resources Into the smart grid: Recent Developments in Information and Communication Technologies," *in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 14, no. 7, pp. 2814-2825, July 2018.*

Rohit, A.K., et al., An overview of energy storage and its importance in Indian renewable energy sector: Journal of Energy Storage, 2017. 13(Supplement C): p. 10-23.

She X. and Huang A., "Solid state transformer in the future smart electrical system," 2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting, Vancouver, BC, 2013, pp. 1-5.

SUSCHEM, Battery Energy Storage, White paper, European Technology Platform for Sustainable Chemistry, SusChem Materials Working Group 2018.

TESLA:https://www.theverge.com/2019/3/6/18253618/tesla-supercharger-250kw-v3-specs-location

The Electric Power Research Institute, online publications available at: http://www.epri.com/, 2002.

The US Department of Energy, Office of Distributed Energy Resources, online publications available at: https://www.energy.gov/eere/slsc/renewable-energy-distributed-generation-policies-and-programs

Thomas, A. Göran, S. Lennart "Distributed generation: a definition". *Electric Power Syst. Res*., 57 (3) (2001), pp. 195-204

Trebolle, David & Frías, Pablo & María Maza, Jose & Luis Martínez, José. (2012). El control de tensión en redes de distribución con generación distribuida (I). Anales de mecánica y electricidad. Marzo-Abril.

Trebolle, David & Frías, Pablo & Maza-Ortega, J.M. & Tello Guijarro, Jorge. (2012). El control de tensión en redes de distribución con generación Distribuida (II). Anales de mecánica y electricidad. Mayo-Junio.

UCTE 2006 "Final Report - System Disturbance on 4 November 2006". https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/_library/publications/ce/otherreports/Final-Report-20070130.pdf

VVA, Copenhagen Economics, Neon, Deloitte. "Study on the quality of electricity market data of transmission system operators, electricity supply disruptions, and their impact on the European electricity markets" Final report. Commission européenne

Weisser, (2007) "A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies" Energy, 32 (2007), pp. 1543-1559

ZeEUS: https://zeeus.eu/

Zhou Y. and Li X., "Vehicle to grid technology: A review," *2015 34th Chinese Control Conference (CCC)*, Hangzhou, 2015, pp. 9031-9036.

L'INNOVATION DANS LA NOUVELLE ÉCONOMIE. EXIGENCES POUR UN SYSTEME D'INNOVATION SOLIDE, Manuel Doblaré (Universidad de Zaragoza)

Le rôle de l'innovation dans la nouvelle société de la connaissance

«L'avenir n'est plus ce qu'il était», clame une célèbre phrase appartenant vraisemblablement à un graffiti. Et c'est vrai. En effet, les progrès technologiques impressionnants auxquels nous avons assisté au cours des dernières années sont en train de révolutionner, à un rythme exponentiel, les fondements de notre vie en tant qu'individu et en tant que communauté. La façon dont nous mangeons, dont nous nous déplaçons, dont nous prenons soin de nous, dont nous nous reproduisons et nous vieillissons ; notre manière d'apprendre et d'enseigner, de travailler, de faire des affaires ou de communiquer et d'interagir ; tout est en pleine transformation. Ces évolutions façonnent des transformations structurelles si fortes dans l'éducation, le travail, les relations socioéconomiques, politiques et humaines que beaucoup de philosophes représentent notre époque par un point de discontinuité dans notre civilisation qui changera les racines de notre espèce [1] [5].

La fracture de ces bases sociales anciennes conduit à des sociétés politiquement fragiles et très incertaines à pratiquement tous les niveaux: emploi, sécurité, stabilité culturelle, etc., avec les réactions bien connues de la peur et de la défense de l'identité propre. Mais, en même temps, les sociétés résultantes sont socialement et culturellement plus riches et beaucoup plus adaptables. Les spécialistes ont inventé différents termes pour décrire cette nouvelle société: société de l'information, de la technologie ou du savoir font partie des qualificatifs que l'on retrouve fréquemment.

Ce dernier est probablement le plus adéquat. La connaissance est la production humaine la plus authentique, constituant non seulement le substrat nécessaire pour préserver l'identité d'une communauté, mais aussi le seul moyen d'accroître la richesse mondiale avec des ressources fixes, élevant ainsi le niveau de vie mondial, ce qui permet de réduire les inégalités et de promouvoir le changement social.

Parmi les caractéristiques socioéconomiques les plus pertinentes de cette société du savoir on peut citer:

- L'évolution exponentielle des progrès technologiques, la diffusion universelle des informations et la couverture mondiale des communications.
- La dépendance croissante de la richesse d'une communauté vis-à-vis de la création et de la diffusion des connaissances, ainsi que leur exploitation dans des actifs à forte valeur ajoutée via le cycle récurrent de formation, recherche et innovation.

- L'intégration globale de l'économie et la valeur croissante de la diversité et de la transdisciplinarité.
- La demande de nouvelles compétences et aptitudes, plus proches de la capacité à innover que du travail manuel traditionnel, ce qui implique une nécessité d'adaptation permanente et d'apprentissage continu.

L'un des facteurs déterminants pour toute communauté sera donc sa capacité à accéder, à produire, à stocker, à analyser et à exploiter l'énorme quantité de données et d'informations disponibles, mais aussi à les transformer en connaissances par le biais de la formation, de la transmission d'expérience ou de l'exploitation des nouvelles capacités de big data et de l'intelligence artificielle pour finalement transformer ce savoir en valeur économique et sociale grâce à l'innovation. Promouvoir ce cercle vertueux devrait donc être l'une des premières responsabilités de toute administration publique.

L'innovation dans la nouvelle économie. Les acteurs et leurs rôles

Dérivant du constat précédent, nous assistons à l'émergence de nouvelles structures organisationnelles de production et de commercialisation qui sont l'expression d'un modèle économique que l'on ne peut comprendre uniquement par l'interaction entre les facteurs de production traditionnels (capital, terre, travail) ; il résulte en effet de la capacité de générer, à accumuler, à utiliser et à diffuser le savoir et la technologie.

Le temps entre une découverte scientifique et son utilisation généralisée est de plus en plus court, avec l'obsolescence technologique rapide qui va de pair. Selon certaines études, 40% des produits et services qui existent aujourd'hui disparaîtront dans cinq ans et 50% de ceux qui seront sur le marché à cette date ne sont pas encore connus. De plus, certaines des technologies dont l'impact sera le plus marqué au cours de la prochaine décennie n'existaient pas il y a seulement 10 ans [6].

Les chiffres ne laissent pas de place au doute. La Banque mondiale a calculé que les 29 pays qui représentent 80% de la richesse totale de la planète doivent 67% de leur bien-être au capital intellectuel (éducation, recherche scientifique et technologique, systèmes d'information), 17% au capital naturel (matières premières) et 16% au capital productif (machines, infrastructures). Cette «dématérialisation» croissante de l'économie implique que le niveau de vie de nos sociétés dépend de plus en plus de l'efficacité de la formation, de la qualité de la recherche et du système d'innovation, de la capacité de création et de l'accès aux informations et, par conséquent sur le capital intellectuel.

De nouveaux espaces économiques voient donc le jour, tandis que, dans le même temps, d'autres secteurs devenus non-concurrentiels disparaissent, ce qui modifie l'importance relative de chaque domaine économique, comme ce fut le cas lors de la

révolution industrielle. Nous assistons également à un déplacement progressif de la concurrence, fondée jusqu'ici sur l'échelle de production, la réduction des coûts et la qualité du produit et qui dépend de plus en plus de la différenciation et du remplacement rapide des produits, ce que certains auteurs ont appelé le passage «de l'économie d'échelle à l'économie de gamme» [4].

Mondialisation, dématérialisation, désectorialisation, différenciation, évolution continue et adaptation: voici les mots clés qui définissent la nouvelle économie. Cela conduit à une redéfinition progressive mais inexorable de la division internationale du travail, ce qui représente une grande opportunité pour les pays dépourvus de ressources naturelles et ayant un faible développement économique ou industriel, mais possédant des ressources humaines de qualité. Cette situation entraîne également de fortes tensions sur le marché du travail, avec un chômage structurel dans les secteurs d'activité traditionnels, compatible avec une demande considérable non satisfaite en spécialistes dans les activités associées à la nouvelle économie. Les emplois qui n'existaient pas il y a cinq ans sont parmi les plus demandés [7].

Toutefois ce n'est pas seulement l'emploi, mais tout le concept du travail qui est en train de changer structurellement. Depuis la révolution industrielle, les entreprises exigent à leurs employés qu'ils travaillent pendant un certain nombre d'heures dans un endroit fixe. Aujourd'hui, la présence physique et la synchronisation ne sont plus nécessaires pour effectuer un travail ; pas plus que la présence simultanée dans un même endroit d'un acheteur et d'un vendeur pour qu'une transaction commerciale se produise. Ce n'est pas ce qui doit être fait (et encore moins la manière dont cela doit être fait) qui importe, mais bien les objectifs à atteindre comme la qualité, le prix ou le délai de commercialisation. L'imagination et la créativité du prestataire (plus que du travailleur) détermineront comment, quand et où faire la tâche sera exécutée.

En outre, les tâches manuelles, répétitives et suivant un protocole sont automatisées à un rythme rapide, qui devrait encore s'accélérer dans les prochaines années, au profit d'activités plus imaginatives et innovantes, plus difficiles à convertir en protocoles. Ce processus exige nouvelles compétences telles que la créativité, la capacité d'apprentissage et d'adaptation, l'autonomie personnelle, la pensée critique, la capacité à produire des connaissances et à innover, les relations humaines et commerciales, la capacité à travailler en équipe, la capacité à communiquer dans plusieurs langues, la sensibilité aux diversités culturelles et les compétences technologiques.

En ce qui concerne les entreprises et les institutions, le nouvel environnement dans lequel elles exercent leurs activités (mondialisation, rapidité des changements, complexité, pression technologique) implique également des exigences plus élevées en termes de flexibilité, gestion du changement, culture d'apprentissage, spécialisation, mise en réseau et enfin considération du savoir et des actifs immatériels comme une valeur stratégique. Les entreprises du savoir encouragent la formation

continue de leurs ressources humaines, récompensent leurs collaborateurs pour leurs idées, externalisent un grand nombre de leurs tâches et nouent des accords stables et stratégiques avec les universités et les centres scientifiques. Bien que ce modèle implique un degré plus élevé de dépendance et d'incertitude, il augmente également la flexibilité et l'adaptabilité, réduire le risque et accroît la complémentarité. Le «modèle de matrice-cluster» illustre parfaitement ces nouvelles structures. Il s'agit de conglomérats de sociétés, partenaires ou parfois concurrentes, qui partagent des informations dans le but d'affronter la concurrence plus efficacement à l'échelle mondiale. Il est particulièrement intéressant de remarquer l'apparition croissante d'entreprises consacrées à la collecte de données et d'informations, au développement d'analyses scientifiques et techniques, d'organismes de recherche sous contrat, de banques de données et toute une série d'institutions similaires qui constituent un secteur émergent et à forte valeur ajoutée qui «fabrique» et vend des «connaissances».

Les universités et les centres de recherche prennent de plus en plus conscience de ce changement majeur. Non seulement le monopole de la formation leur échappe (avec par exemple les cours en ligne, les débats et les MOOC, les centres de formation et de recherche axés sur des objectifs), mais ils perdent également leur rôle prééminent de producteurs de connaissances. Le modèle traditionnel de création de connaissances fondé sur les institutions de recherche de prestige ou les départements de recherche au sein des entreprises (modèle M1 selon Gibbons et al. [2]) est peu à peu complété (voire remplacé) par un nouveau modèle (M2 dans la nomenclature de Gibbons et al. [2]) plus flou, où les découvertes se produisent au cours du développement d'une application (recherche appliquée et innovation) et non pas dans la recherche de connaissances en tant que telle (recherche fondamentale). Ce scénario présente de nombreux avantages face aux enjeux extrêmement complexes auxquels notre société est confrontée, comme le changement climatique, le vieillissement de la population et la démographie, la distribution de la richesse mondiale, la pénurie en eau et en énergie, l'automatisation des emplois, etc., pour n'en citer que quelques-uns. C'est dans le contexte de ces applications à grande échelle, très complexes du point de vue organisationnel et technologique, auxquelles coopèrent des groupes d'institutions très différentes, que les connaissances qui marqueront notre avenir se font jour.

Enfin, le rôle de l'administration est essentiel pour créer un environnement propice à l'innovation. L'administration publique a en effet des responsabilités fondamentales et notamment: fournir une éducation et une formation au plus haut niveau possible pour sa population ; promouvoir la recherche fondamentale et le soutien à long terme de l'innovation ; renforcer le lien entre l'innovation, la recherche et les entreprises ; construire des infrastructures de recherche ; et diffuser le savoir. Les nombreux programmes-cadres de recherche de l'Union européenne, les différents plans de recherche nationaux ou régionaux, les programmes de développement et d'innovation

(RDI) montrent bien qu'il est indispensable de fixer des lignes directrices générales, de hiérarchiser les domaines et les secteurs d'application, d'identifier et de soutenir les tendances scientifiques à long terme et d'améliorer l'efficacité du système d'innovation dans son ensemble.

Mais avant tout, il est évident que la mise en place d'un système d'innovation efficace n'est pas chose facile et que cela implique le concours de nombreux acteurs, nationaux et étrangers, publics et privés, universitaires et productifs, mais que c'est aussi une condition nécessaire pour gagner en richesse et en égalité.

Comment définir et mesurer l'innovation? L'indice mondial de l'innovation

On trouve de nombreuses définitions du concept d'innovation. L'une des plus couramment employée est la suivante: «L'innovation désigne toute action ou procédé qui transforme le savoir en richesse ou en valeur sociale, générant des ressources précieuses à partir de talents organisationnels et individuels.» La recherche pure produit quant à elle de nouvelles connaissances grâce à des méthodes scientifiques ou heuristiques, mais n'a pas pour objectif spécifique de créer de la valeur. Bien-sûr, la ligne qui sépare les deux domaines est très mince et la plupart du temps, la recherche et l'innovation vont de pair, en particulier dans le modèle M2 dont nous avons déjà parlé.

Bien que l'on comprenne de la définition précédente que l'innovation peut survenir en tout lieu et à toute heure, on la regroupe habituellement en trois grandes catégories:

- L'innovation révolutionnaire, disruptive ou discontinue qui aboutit à une technologie ou à un procédé tout à fait nouveau qui modifie complètement un ou plusieurs marchés et/ou activités sociales. Citons par exemple l'impression 3D, Internet, la génomique avancée ou encore les technologies solaires.
- L'innovation incrémentale, continue ou évolutive qui est provoquée par des progrès graduels dans une technologie préexistante. C'est par exemple le cas du passage des imprimantes 3D de matériaux à base de polymères aux métaux ou à la céramique, des améliorations constantes des téléphones mobiles et des protocoles de transmission (de 1G à 5G), des nouvelles techniques de séquençage rapide des gènes ou de l'incroyable évolution des systèmes photovoltaïques à base de silicium.
- L'innovation translationnelle désigne le transfert et l'assimilation d'une technologie dans une nouvelle application ou un nouveau secteur industriel. L'utilisation des bio-imprimantes 3D en médecine régénérative, l'emploi de Smartphones pour contrôler la santé des patients, l'adaptation de la technique

CRISP-R pour traiter des maladies géniques ou l'intégration de cellules solaires dans des appareils ménagers en sont quelques exemples.

En ce qui concerne le domaine d'application, bien que l'on trouve des innovations dans toutes les activités économiques et tout au long du processus de production et d'organisation, on distingue habituellement les catégories suivantes:

- L'innovation de produit, qui implique l'introduction d'un nouveau bien ou service ou l'amélioration d'un bien ou service préexistant. Cela peut concerner des améliorations au niveau des caractéristiques fonctionnelles, des capacités techniques, de la facilité d'utilisation ou toute autre caractéristique du produit.
- L'innovation de procédé, qui implique la mise en œuvre d'une nouvelle méthode ou d'une méthode significativement améliorée de production ou de livraison.
- L'innovation de marché, qui correspond au développement de nouvelles méthodes de commercialisation avec des améliorations au niveau de la conception, de l'emballage, de la promotion des produits ou de la tarification.
- L'innovation organisationnelle (que l'on appelle aussi «innovation sociale»), qui implique la création de nouvelles organisations, de bonnes pratiques commerciales, de moyens de gestion des organisations ou d'un nouveau comportement organisationnel.
- L'innovation de modèle commercial, qui est associé à des changements dans la façon de faire des affaires. Il peut s'agir par exemple du fait de remplacer la vente en magasin par la distribution en ligne.

Comme nous l'expliquions dans l'introduction, il a été démontré que l'innovation est dans l'histoire le facteur le plus important pour réduire les inégalités, tout en maintenant le progrès humain. Il est donc difficile de sous-estimer son importance dans l'amélioration de la qualité de la vie des hommes. De nombreux indicateurs montrent qu'il existe un lien direct entre la capacité d'innovation d'un pays et son potentiel de croissance, ou plus précisément, entre l'effort d'investissement consacré à la recherche et à l'innovation et la compétitivité économique à long terme. Il est donc pas étonnant que les pays et régions cherchent à encourager l'innovation au sein de leurs entreprises et institutions, et à améliorer l'ensemble de leur système d'innovation en:

- Renforçant les différents agents de l'innovation et leurs interactions
- Accompagnant ou en soutenant d'autres acteurs de l'écosystème de l'innovation (par exemple le capital-risque et le capital d'amorçage)
- Fournissant des ressources (personnes, infrastructures, etc.)
- Soutenant des politiques complémentaires telles que l'éducation et la diffusion, la politique fiscale, l'attraction des talents, etc.

Mais comment mesurer cet effort d'innovation et les résultats obtenus? La meilleure compilation d'indicateurs en matière d'innovation pour chaque pays et la performance dérivée est donnée depuis 2007 par l'indice mondial de l'innovation connu sous sa dénomination en anglais «Global Innovation Index» (GII) [3]. Ce rapport inclut un classement annuel des pays en fonction de leur capacité d'innovation et des résultats qu'ils obtiennent dans ce domaine. Il est publié par l'Université de Cornell, l'INSEAD et l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle, en partenariat avec d'autres organisations et institutions.

Le GII se fonde sur des données subjectives et objectives dérivées de plusieurs sources. Il est calculé en prenant une simple moyenne des scores obtenus dans deux grands indices concernant les apports et les résultats, respectivement. Le premier se compose de cinq sous-indices ou piliers, à savoir: les institutions, le capital humain et la recherche, les infrastructures, la sophistication du marché et la sophistication des entreprises ; tandis que le second est constitué de deux sous-indices: la production de connaissances et de technologies et la production de créations. Chacun de ces piliers décrit un attribut d'innovation et englobe plusieurs indicateurs, comme cela est indiqué dans les résumés correspondants pour la France, le Portugal et l'Espagne dans le rapport GII 2018, figurant en Annexe [3].

Exigences pour un système d'innovation solide

En regardant de près les principaux piliers du GII, on identifie aisément les aspects qui définissent un système d'innovation solide et qu'il est donc très important pour un pays de promouvoir et de contrôler.

En ce qui concerne l'administration et l'environnement socioéconomique, on peut citer:

1. Un bon système éducatif à tous les niveaux, avec une formation scientifique et des compétences sociales et professionnelles adaptées aux besoins des entreprises
2. Une bonne reconnaissance sociale de la recherche, de la science et des scientifiques
3. L'existence d'une stratégie de RDI à long terme qui soit claire et acceptée, et un statut prioritaire donné aux politiques de RDI dans toutes les administrations. Un objectif de l'ordre de 3% du PIB pour l'ensemble des investissements en R&D du pays, avec une répartition correcte (environ 40-60) entre agents publics et privés pourrait être raisonnable

4. Une bonne coordination avec les politiques européennes et entre les différentes régions du pays pour éviter les répétitions et promouvoir la complémentarité, la différenciation et la spécialisation
5. Un système de gestion flexible permettant des variations au niveau des objectifs, de l'application budgétaire ou des contrats
6. Des facilités pour créer de nouvelles entreprises avec des règles claires évitant la bureaucratie, ainsi que des politiques solides et flexibles en matière de financement et de fiscalité
7. La promotion des technologies émergentes par les réglementations, la politique fiscale ou les marchés publics qui peuvent être utilisés en tant que facteur d'attractivité de l'innovation
8. Des politiques d'attraction et de rétention des talents dans un environnement international très compétitif, avec un niveau suffisant de reconnaissance, d'incitations et de continuité:
9. La réduction des barrières à la mobilité du personnel de RDI entre le secteur public et le secteur privé ;
10. La promotion d'écosystèmes régionaux englobant les entreprises, les universités, les centres technologiques et d'autres institutions.

Concernant les entreprises:

1. La RDI doit être considérée comme une composante fondamentale du succès de l'entreprise. Par conséquent, les dépenses des entreprises en R&D et l'emploi dans le secteur de RDI doivent être suffisants (p. ex., l'effort en RDI des entreprises espagnoles est deux fois moins important que la moyenne européenne)
2. Une stratégie d'innovation et de protection de la PI adaptée et robuste
3. Une gestion professionnelle et flexible des projets de RDI
4. Des instruments de financement divers et suffisamment flexibles pour les entreprises technologiques
5. Une proportion raisonnable et équilibrée des différents types de sociétés (p. ex., un pourcentage élevé de très petites entreprises réduit les possibilités d'investissement et d'organisation de leurs politiques de RDI)
6. L'augmentation et la promotion des entreprises systématiquement impliquées dans la RDI
7. Un degré élevé de numérisation des entreprises, en particulier au niveau des PME
8. L'amélioration, au moyen d'une politique de RH adaptée, du profil des travailleurs (nombre de chercheurs, de diplômés en STEM et d'employés dans les services à forte intensité en connaissances)
9. Une gestion efficace des connaissances et une capacité d'assimilation rapide de la technologie.

En ce qui concerne le système de création de connaissances et de transfert de technologies:

1. Une solide stratégie de transfert de technologies avec l'implication suffisante des entreprises
2. Une gouvernance et une gestion souple des projets d'innovation dans les universités et les centres de recherche
3. Des structures et des politiques axées sur les résultats de la recherche, mais aussi sur la production et le transfert de technologies, avec une politique adaptée en termes de reconnaissance et d'incitation
4. Une stratégie d'innovation interne correcte
5. Une stratégie de différentiation et de spécialisation au niveau des forces et des capacités en RDI
6. Une politique appropriée pour attirer et retenir des talents, à la fois auprès des étudiants et du personnel
7. Une politique ferme en matière de protection de la propriété intellectuelle, de création de spin-off et de commercialisation du savoir-faire
8. Des professionnels en nombre suffisant et bien formés qui participent au transfert de technologies (PI, commercialisation, recherche d'opportunités, etc.)
9. Une politique de RDI fondée, non seulement sur des projets à court terme et conseil, mais aussi sur des collaborations stratégiques et/ou de grands projets à long terme
10. Des politiques et des outils permettant de tirer parti du co-investissement dans des projets à haut risque mais avec un retour largement supérieur et plus récurrent.

Forces et faiblesses des systèmes d'innovation de la France, du Portugal et de l'Espagne

La graphique 1, extraite du rapport GII 2018, montre les 50 premiers pays du classement mondial. On constate que la France, le Portugal et l'Espagne occupent respectivement les positions 16, 28 et 32 ; les deux derniers se situant en dessous de pays comme l'Estonie, Malte ou la République tchèque. Bien que la France obtienne de meilleurs résultats, elle arrive derrière tous les autres pays d'Europe occidentale et septentrionale, à l'exception de la Belgique, et d'autres acteurs internationaux, bien connus pour leurs systèmes d'innovation puissants, tels que les États-Unis, le Japon, la Suisse ou la Corée du Sud, et même après d'autres pays plus petits mais accordant une grande importance à l'innovation, comme Israël, Singapour ou Hong-Kong. Tout cela signifie que, malgré les différences, les traditions et les politiques, la France, le Portugal et l'Espagne obtiennent tous des résultats en innovation largement en deçà de leurs

capacités respectives en termes de PIB et de force scientifique. Quelles en sont les raisons? Qu'est-ce qui ne fonctionne pas correctement dans nos systèmes d'innovation?

Si l'on prend à présent les résultats et le classement de chacun de ces trois pays dans les différentes dimensions analysées, on remarque certaines faiblesses qui conduisent, en définitive, à des réductions et à des imperfections au niveau de la performance de chaque pays en matière d'innovation et qui ont un impact certain sur la productivité, les salaires, le chômage ou le solde import-export. Dans certaines de ces dimensions, l'Espagne et le Portugal obtiennent des résultats particulièrement médiocres.

Les principales faiblesses de la France sont celles que correspondent aux résultats pour les Institutions et le Savoir et la technologie, et plus particulièrement les environnements politique, réglementaire et commercial. Soulignons également la mauvaise performance en matière de création des connaissances et d'impact. Cela témoigne d'un environnement rigide pour la création de nouvelles entreprises, et d'une translation insuffisante des connaissances fondamentales aux connaissances appliquées et aux produits et entreprises ; une situation typique de la plupart des pays européens. En ce qui concerne le Portugal et l'Espagne, les conclusions sont similaires: les chiffres absolus sont plus faibles, mais les performances sont relativement meilleures, notamment en Espagne pour la création de connaissances, tandis que des faiblesses supplémentaires apparaissent. Par exemple, la sophistication des affaires en Espagne et la sophistication des affaires et du marché au Portugal. Cela indique que ces pays ont non seulement un environnement administratif rigide, comme en France, mais aussi une culture sociale et une structure d'entreprise qui ne contribuent pas à la promotion de nouvelles entreprises très axées sur la recherche ; que les entreprises rencontrent des difficultés pour embaucher des personnes très qualifiées ; et que des secteurs à faible valeur ajoutée, comme le tourisme, pèsent lourdement sur leurs économies. Enfin, au Portugal on remarque un besoin particulier associé à l'insuffisance d'infrastructures de TIC et de recherche, indispensables au développement rapide d'activités à forte intensité en connaissances.

GRAPHIQUE 1. 50 PREMIERS PAYS DU GLOBAL INNOVATION INDEX 2018

Global Innovation Index 2018 rankings

Country/Economy	Score (0–100)	Rank	Income	Rank	Region	Rank	Efficiency Ratio	Rank	Median: 0.61
Switzerland	68.40	1	HI	1	EUR	1	0.96	1	
Netherlands	63.32	2	HI	2	EUR	2	0.91	4	
Sweden	63.08	3	HI	3	EUR	3	0.82	10	
United Kingdom	60.13	4	HI	4	EUR	4	0.77	21	
Singapore	59.83	5	HI	5	SEAO	1	0.61	63	
United States of America	59.81	6	HI	6	NAC	1	0.76	22	
Finland	59.63	7	HI	7	EUR	5	0.76	24	
Denmark	58.39	8	HI	8	EUR	6	0.73	29	
Germany	58.03	9	HI	9	EUR	7	0.83	9	
Ireland	57.19	10	HI	10	EUR	8	0.81	13	
Israel	56.79	11	HI	11	NAWA	1	0.81	14	
Korea, Republic of	56.63	12	HI	12	SEAO	2	0.79	20	
Japan	54.95	13	HI	13	SEAO	3	0.68	44	
Hong Kong (China)	54.62	14	HI	14	SEAO	4	0.64	54	
Luxembourg	54.53	15	HI	15	EUR	9	0.94	2	
France	54.36	16	HI	16	EUR	10	0.72	32	
China	53.06	17	UM	1	SEAO	5	0.92	3	
Canada	52.98	18	HI	17	NAC	2	0.61	61	
Norway	52.63	19	HI	18	EUR	11	0.64	52	
Australia	51.98	20	HI	19	SEAO	6	0.58	76	
Austria	51.32	21	HI	20	EUR	12	0.64	53	
New Zealand	51.29	22	HI	21	SEAO	7	0.62	59	
Iceland	51.24	23	HI	22	EUR	13	0.76	23	
Estonia	50.51	24	HI	23	EUR	14	0.82	12	
Belgium	50.50	25	HI	24	EUR	15	0.70	38	
Malta	50.29	26	HI	25	EUR	16	0.84	7	
Czech Republic	48.75	27	HI	26	EUR	17	0.80	17	
Spain	48.68	28	HI	27	EUR	18	0.70	36	
Cyprus	47.83	29	HI	28	NAWA	2	0.79	18	
Slovenia	46.87	30	HI	29	EUR	19	0.74	27	
Italy	46.32	31	HI	30	EUR	20	0.70	35	
Portugal	45.71	32	HI	31	EUR	21	0.71	34	
Hungary	44.94	33	HI	32	EUR	22	0.84	8	
Latvia	43.18	34	HI	33	EUR	23	0.69	39	
Malaysia	43.16	35	UM	2	SEAO	8	0.66	48	
Slovakia	42.88	36	HI	34	EUR	24	0.74	28	
Bulgaria	42.65	37	UM	3	EUR	25	0.79	19	
United Arab Emirates	42.58	38	HI	35	NAWA	3	0.50	95	
Poland	41.67	39	HI	36	EUR	26	0.69	42	
Lithuania	41.19	40	HI	37	EUR	27	0.63	58	
Croatia	40.73	41	UM	4	EUR	28	0.70	37	
Greece	38.93	42	HI	38	EUR	29	0.59	74	
Ukraine	38.52	43	LM	1	EUR	30	0.90	5	
Thailand	38.00	44	UM	5	SEAO	9	0.71	33	
Viet Nam	37.94	45	LM	2	SEAO	10	0.80	16	
Russian Federation	37.90	46	UM	6	EUR	31	0.58	77	
Chile	37.79	47	HI	39	LCN	1	0.60	68	
Moldova, Republic of	37.63	48	LM	3	EUR	32	0.89	6	
Romania	37.59	49	UM	7	EUR	33	0.66	47	
Turkey	37.42	50	UM	8	NAWA	4	0.75	25	

Source: (issu de [5])

Si l'on examine attentivement le GII-2018, on remarque également des forces qui sont communes aux trois systèmes d'innovation, telles que: i) d'excellentes capacités en RDI dans les universités, les PRO et les centres de recherche et développement ; ii) un nombre raisonnable de chercheurs et de personnel de RDI avec une masse critique de scientifiques et de techniciens dans certains domaines ; iii) une production scientifique d'excellente qualité et à fort impact international, en particulier dans certains secteurs ; iv) des infrastructures scientifiques et technologiques de pointe ; v) une bonne reconnaissance sociale de la science ; vi) un leadership scientifique, technologique et commercial dans certains domaines stratégiques selon le pays (biotechnologie, énergie, TIC, etc.) ; vii) des infrastructures de communication

importantes et avancées, sauf au Portugal ; viii) un pourcentage élevé de la population ayant fait des études supérieures ; ix) une utilisation intensive des TIC au sein des administrations et de la population, quoique moins intense au Portugal et dans les entreprises espagnoles ; et, enfin, x) de bons indicateurs environnementaux.

Quoi qu'il en soit, quelles mesures devraient être adoptées pour changer la situation défavorable dans nos pays et ainsi transformer le modèle économique (surtout au Portugal et en Espagne) comme d'autres pays l'ont fait ces dernières années (Corée du Sud, Finlande, Israël ou Estonie)? La section suivante formule plusieurs propositions, certaines étant faciles à mettre en place et d'autres requérant des changements culturels et un investissement à long terme en éducation et valeurs, mais qui sont dans tous les cas inévitables pour maintenir la qualité de vie et la paix sociale tout en soutenant l'égalité des chances, la prise en charge des plus défavorisés et la réduction des inégalités.

Propositions d'amélioration

Une fois que le diagnostic a été posé, nous sommes à même de présenter quelques propositions visant à améliorer un système national d'innovation et à en débattre. Toute stratégie dans ce domaine nécessite, en tant que condition sine qua non, un accord politique et social global à long terme de l'ensemble du pays pour transformer le modèle éducatif, mais aussi changer les valeurs et les priorités socioéconomiques. Celles-ci devraient être axées sur la promotion de la production de connaissances, la protection et l'attraction des talents individuels et des organisations, l'environnement et le développement durable, et l'innovation permanente en tant que principaux moteurs d'un modèle de croissance sain et solide. Certaines des propositions pour y parvenir, en adaptant bien entendu leur importance et leur intensité en fonction des pays (la France, le Portugal et l'Espagne dans notre cas), sont les suivantes:

Environnement social:

1. Un effort pédagogique est essentiel pour que l'éducation, l'apprentissage continu, l'effort et le risque soient des valeurs davantage reconnues au sein de la société
2. Un changement de la vision sociale du rôle et de la valeur de la science, de l'art, de la technologie et de la culture est fondamental
3. Des changements majeurs dans l'éducation à tous les niveaux sont nécessaires, y compris une augmentation des ressources, des méthodes plus innovantes, des programmes pour la formation des éducateurs à la nouvelle société du savoir et l'adaptation des cursus afin de promouvoir le secteur des STEM, les langues, la diversité culturelle, la multidisciplinarité, la transversalité et l'utilisation de nouvelles technologies.

4. Une politique globale et intériorisée de cohésion sociale et d'exclusion de la marginalité avec des projets d'intégration des personnes âgées, de la population rurale, des immigrants et des handicapés, en lien avec la reconnaissance de la diversité culturelle, linguistique et des capacités.
5. Un niveau suffisant d'infrastructures de RDI, d'institutions d'excellence et d'écosystèmes
6. La création, l'attraction et la rétention de talents à tous les niveaux du système éducatif devrait être une priorité de l'État.
7. La coordination et la spécialisation des régions, des universités et des entreprises sont fondamentales dans un système mondial ultra-compétitif.
8. Encourager la promotion de la société du savoir en soutenant la mise en œuvre des TIC, l'augmentation du nombre de travailleurs de la connaissance, la promotion des brevets et la collaboration avec les agents de recherche et développement.

Administration:

1. Une politique incitative et d'investissement intense et stable à tous les niveaux du système de RDI est nécessaire, en donnant la priorité à la création, au transfert et à l'assimilation des technologies et des innovations.
2. La mise en œuvre d'un programme d'administration virtuelle multipliant les services en ligne et comprenant des plans pilotes de démocratie directe dans différents domaines de l'administration.
3. Des plans spéciaux de numérisation dans des secteurs clés tels que la santé, la justice, l'éducation ou le patrimoine naturel et historique.
4. La promotion de l'accès public à toutes les sources d'information via le renforcement des services publics sur le réseau, l'accès gratuit à Internet et l'éducation numérique.
5. Des règles souples dans ce monde en mutation sont essentielles pour passer du schéma bureaucratique actuel à un nouveau modèle basé axé sur les objectifs.
6. Éliminer les obstacles et promouvoir les technologies émergentes et les start-up avec une réglementation favorable, une politique fiscale, un capital-risque public, des prêts à risques partagés, etc.

Entreprises:

1. La taille fait la différence au niveau des entreprises (il est important de mettre en place des incitations pour encourager les petites entreprises à devenir de moyennes entreprises, et non pas le contraire, comme c'est souvent le cas)
2. Promotion de réseaux et consortiums stratégiques dans un écosystème de RDI approprié incluant universités, centres d'excellence et centres technologiques.

3. Une stratégie d'innovation adaptée est indispensable pour toute entreprise, indépendamment de sa taille et de ses possibilités. Il s'agit plus d'une question de culture que d'argent. Ainsi, une entreprise qui ne pourrait pas se consacrer directement à la recherche ou à l'innovation, devrait pouvoir le faire ouvertement ou «wikily» et, si possible, de manière stratégique, au sein d'un consortium ou d'un cluster
4. Tirer parti du talent existant au sein de l'organisation pour favoriser l'assimilation et de l'intégration rapides des nouvelles technologies et innovations.
5. La valeur d'une entreprise repose sur son portefeuille de clients et son savoir-faire, et ceux-ci doivent donc être particulièrement protégés et défendus.

Recherche et agents de formation:

1. L'attraction des talent, parmi les étudiants et les chercheurs du monde entier, devrait être l'objectif principal de tout centre de recherche d'envergure mondiale.
2. L'institution doit avoir sa propre stratégie d'innovation adaptée.
3. Les universités doivent encourager les collaborations permanentes et stratégiques au sein de grands consortiums sous la forme de vastes projets à long terme.
4. Des structures professionnelles sont essentielles pour mettre en place de bonnes stratégies de transfert de technologies et d'innovation (commercialiser les résultats de la RDI, définir une solide politique de protection de la PI et une bonne stratégie de création de spin-off favorisant les rendements à long terme).
5. L'investissement à long terme partageant les risques selon les objectifs d'un plan stratégique bien défini est fondamental dans la nouvelle économie.
6. L'évaluation continue de la performance de l'institution et de ses employés, ainsi que le contrôle de l'alignement vis-à-vis de la stratégie, est le seul moyen pour progresser.

Conclusions

La croissance exponentielle du savoir, de la technologie, de l'information et de la communication révolutionne à tel point notre mode de vie que l'on peut affirmer que notre civilisation arrive à un point de rupture. De fait, les progrès scientifiques et technologiques et les produits et processus innovants qui en découlent semblent imparables. En outre, l'innovation s'est avérée être le facteur le plus important pour réduire les inégalités, tout en préservant le progrès humain.

La mondialisation, la dématérialisation, la différenciation et le changement et l'adaptation permanents font partie des caractéristiques qui définissent l'économie dans la société du savoir. Cette situation entraîne des changements fondamentaux sur le marché du travail, avec un chômage structurel dans les secteurs d'activité traditionnels, compatible avec une demande considérable non satisfaite en spécialistes dans les activités associées à la nouvelle économie. C'est assurément un enjeu de taille. Mais c'est aussi une opportunité pour les pays, les régions et les entreprises qui ont compris le besoin en qualifications telles que les compétences technologiques, la communication dans différentes langues, la créativité, l'apprentissage et l'adaptation au changement, la capacité à produire des connaissances et à innover, ou encore la diversité culturelle.

L'accès, la production, le stockage, l'analyse et l'exploitation des informations, ainsi que leur transformation en nouvelles connaissances et, enfin, en valeur économique et sociale grâce à l'innovation, sont des facteurs essentiels de la nouvelle économie. Promouvoir ces facteurs est donc l'une des premières responsabilités de toute administration publique. En conséquence, les pays et les régions doivent améliorer l'efficacité de leurs systèmes d'innovation, faire en sorte que leurs ressources humaines s'adaptent en permanence et se forment tout au long de leur vie, et favoriser l'innovation au sein de leurs entreprises et de leurs institutions.

En moyenne, la France, le Portugal et l'Espagne, ainsi que tous leurs acteurs, dans une plus ou moins grande mesure, n'obtiennent pas les résultats escomptés en matière d'innovation. Certes, ils possèdent des atouts importants, comme nous l'avons indiqué dans les sections précédentes, mais si l'on se concentre exclusivement sur les faiblesses, on constate qu'en France, l'environnement est trop rigoureux en matière de création de nouvelles entreprises et que la translation des connaissances de base en produits et activités de valeur est insuffisante ; au Portugal et en Espagne, il convient d'ajouter à ces points faibles, l'insuffisante importance sociale accordée à la recherche et à l'innovation, une structure économique trop marquée par des secteurs à faible valeur ajoutée, comme le tourisme, et un système éducatif inefficace qui ne correspond pas aux besoins de l'industrie. Tous ces aspects freinent la création de nouvelles entreprises plus actives dans la recherche.

En définitive, un changement fondamental est nécessaire dans nos systèmes d'innovation pour pouvoir relever les défis de ce nouveau monde. Nous avons besoin d'un consensus global autour d'une transformation du modèle éducatif afin de reconnaître le talent et l'effort, mais aussi des priorités socioéconomiques dans nos pays, pour rassembler tous les acteurs sociaux autour des nouvelles valeurs, compétences et besoins de la société du savoir. Des personnes talentueuses et engagées, des structures organisationnelles efficaces, des règles flexibles, un environnement favorable aux nouvelles entreprises consacrées à la recherche et à l'innovation sont les ingrédients essentiels pour faire face à la concurrence mondiale

de plus en plus vive. Seuls les pays déterminés à poursuivre leurs efforts en RDI et en faveur de l'adaptation seront capables d'améliorer la qualité de vie de leurs populations à long terme, tout en maintenant la paix sociale et l'égalité.

ANNEXE 1. RESULTATS DE LA FRANCE DANS LES DIFFERENTS INDICES ET PILIERS DU GLOBAL INNOVATION INDEX 2018.

FRANCE

GII 2018 rank **16**

Output rank	Input rank	Income	Region	Efficiency ratio	Population (mn)	GDP, PPP$	GDP per capita, PPP$	GII 2017 rank
16	16	High	EUR	32	65.0	2,826.5	43,760.8	15

		Score/Value	Rank
	Institutions	**81.2**	**21**
1.1	Political environment	74.4	30
1.1.1	Political stability & safety*	63.2	69 ○◇
1.1.2	Government effectiveness*	80.1	20
1.2	Regulatory environment	85.6	20
1.2.1	Regulatory quality*	71.5	28 ◇
1.2.2	Rule of law*	82.5	19
1.2.3	Cost of redundancy dismissal, salary weeks	11.8	39
1.3	Business environment	83.6	22
1.3.1	Ease of starting a business*	93.3	22
1.3.2	Ease of resolving insolvency*	73.9	26
	Human capital & research	**56.8**	**11 ●**
2.1	Education	57.2	29
2.1.1	Expenditure on education, % GDP	5.5	32
2.1.2	Government funding/pupil, secondary, % GDP/cap	26.9	19
2.1.3	School life expectancy, years[a]	16.4	23
2.1.4	PISA scales in reading, maths & science	496.7	24
2.1.5	Pupil-teacher ratio, secondary[a]	12.9	53 ○
2.2	Tertiary education	47.9	21
2.2.1	Tertiary enrolment, % gross[a]	65.3	31
2.2.2	Graduates in science & engineering, %[a]	25.3	30
2.2.3	Tertiary inbound mobility, %[a]	9.9	20
2.3	Research & development (R&D)	65.4	13
2.3.1	Researchers, FTE/mn pop.[a]	4,307.2	21
2.3.2	Gross expenditure on R&D, % GDP	2.2	12
2.3.3	Global R&D companies, top 3, mn US$	86.3	8 ●
2.3.4	QS university ranking, average score top 3*	70.5	12
	Infrastructure	**62.9**	**10 ●**
3.1	Information & communication technologies (ICTs)	87.4	7 ●
3.1.1	ICT access*	86.4	11 ●
3.1.2	ICT use*	79.3	16
3.1.3	Government's online service*	94.2	5 ●
3.1.4	E-participation*	89.8	12
3.2	General infrastructure	51.4	26
3.2.1	Electricity output, kWh/cap	8,243.6	19
3.2.2	Logistics performance*	85.0	16
3.2.3	Gross capital formation, % GDP	23.3	58 ○
3.3	Ecological sustainability	40.9	27
3.3.1	GDP/unit of energy use	10.3	46
3.3.2	Environmental performance*	84.0	2 ●◆
3.3.3	ISO 14001 environmental certificates/bn PPP$ GDP	2.4	43
	Market sophistication	**65.0**	**11 ●**
4.1	Credit	45.7	37
4.1.1	Ease of getting credit*	50.0	79 ○
4.1.2	Domestic credit to private sector, % GDP	97.6	28
4.1.3	Microfinance gross loans, % GDP	n/a	n/a
4.2	Investment	67.4	9 ●
4.2.1	Ease of protecting minority investors*	66.7	32
4.2.2	Market capitalization, % GDP	82.2	19
4.2.3	Venture capital deals/bn PPP$ GDP	0.3	1 ●◆
4.3	Trade, competition, & market scale	81.9	5 ●
4.3.1	Applied tariff rate, weighted mean, %	1.6	19
4.3.2	Intensity of local competition*	79.9	11 ●
4.3.3	Domestic market scale, bn PPP$	2,826.5	10 ●

		Score/Value	Rank
	Business sophistication	**50.6**	**19**
5.1	Knowledge workers	65.7	14
5.1.1	Knowledge-intensive employment, %	45.2	13
5.1.2	Firms offering formal training, % firms	n/a	n/a
5.1.3	GERD performed by business, % GDP	1.4	14
5.1.4	GERD financed by business, %	54.0	17
5.1.5	Females employed w/advanced degrees, %	21.3	19
5.2	Innovation linkages	38.9	39
5.2.1	University/industry research collaboration*	53.7	34 ◇
5.2.2	State of cluster development*	61.4	20
5.2.3	GERD financed by abroad, %	7.6	49 ○
5.2.4	JV–strategic alliance deals/bn PPP$ GDP	0.0	39 ◇
5.2.5	Patent families 2+ offices/bn PPP$ GDP	3.3	13
5.3	Knowledge absorption	47.0	17
5.3.1	Intellectual property payments, % total trade	1.8	15
5.3.2	High-tech net imports, % total trade	11.5	25
5.3.3	ICT services imports, % total trade	2.3	18
5.3.4	FDI net inflows, % GDP	1.1	101 ○
5.3.5	Research talent, % in business enterprise[a]	52.7	11
	Knowledge & technology outputs	**41.6**	**19**
6.1	Knowledge creation	36.5	24
6.1.1	Patents by origin/bn PPP$ GDP	3.0	15
6.1.2	PCT patents by origin/bn PPP$ GDP	2.8	14
6.1.3	Utility models by origin/bn PPP$ GDP	0.1	59 ○◇
6.1.4	Scientific & technical articles/bn PPP$ GDP	17.6	31
6.1.5	Citable documents H index	79.1	4 ●◆
6.2	Knowledge impact	43.7	32
6.2.1	Growth rate of PPP$ GDP/worker, %	0.5	64 ○
6.2.2	New businesses/th pop. 15–64	1.8	52 ○
6.2.3	Computer software spending, % GDP	0.7	10 ●
6.2.4	ISO 9001 quality certificates/bn PPP$ GDP	8.6	41
6.2.5	High- & medium-high-tech manufactures, %	0.4	25
6.3	Knowledge diffusion	44.5	14
6.3.1	Intellectual property receipts, % total trade	2.1	10 ●
6.3.2	High-tech net exports, % total trade	14.3	10 ●
6.3.3	ICT services exports, % total trade	2.2	49
6.3.4	FDI net outflows, % GDP	2.1	28 ◇
	Creative outputs	**49.2**	**12**
7.1	Intangible assets	62.2	7 ●
7.1.1	Trademarks by origin/bn PPP$ GDP	103.6	11 ◆
7.1.2	Industrial designs by origin/bn PPP$ GDP	7.4	17
7.1.3	ICTs & business model creation*	78.3	13
7.1.4	ICTs & organizational model creation*	71.0	19
7.2	Creative goods & services	36.7	24
7.2.1	Cultural & creative services exports, % total trade[a]	1.1	11
7.2.2	National feature films/mn pop. 15–69	6.8	25
7.2.3	Entertainment & Media market/th pop. 15–69	52.4	16
7.2.4	Printing & other media, % manufacturing	1.1	54 ○
7.2.5	Creative goods exports, % total trade	1.8	30
7.3	Online creativity	35.9	24
7.3.1	Generic top-level domains (TLDs)/th pop. 15–69	40.8	18
7.3.2	Country-code TLDs/th pop. 15–69	20.4	28
7.3.3	Wikipedia edits/mn pop. 15–69	64.7	15
7.3.4	Mobile app creation/bn PPP$ GDP	38.9	18

NOTES: ● indicates a strength; ○ a weakness; ◆ a strength relative to the other top 25–ranked GII economies; ◇ a weakness relative to the other top 25; * an index; † a survey question. [a] indicates that the country's data are older than the base year; see Appendix II for details, including the year of the data, at http://globalinnovationindex.org. Square brackets indicate that the data minimum coverage (DMC) requirements were not met at the sub-pillar or pillar level; see page 215 of this appendix for details.

Source: issu de [5] avec l'autorisation.

ANNEXE 2. RESULTATS DU PORTUGAL DANS LES DIFFERENTS INDICES ET PILIERS DU GLOBAL INNOVATION INDEX 2018

PORTUGAL

GII 2018 rank **32**

Output rank	Input rank	Income	Region	Efficiency ratio	Population (mn)	GDP, PPP$	GDP per capita, PPP$	GII 2017 rank
33	32	High	EUR	34	10.3	311.3	30,416.5	31

		Score/Value	Rank
	Institutions	**81.2**	**23**
1.1	Political environment	79.7	19
1.1.1	Political stability & safety*	88.2	13 ●
1.1.2	Government effectiveness*	75.5	24
1.2	Regulatory environment	78.3	31
1.2.1	Regulatory quality*	65.7	37
1.2.2	Rule of law*	74.9	24
1.2.3	Cost of redundancy dismissal, salary weeks	17.0	65 ○
1.3	Business environment	85.5	18 ●
1.3.1	Ease of starting a business*	91.3	41
1.3.2	Ease of resolving insolvency*	79.7	14 ●
	Human capital & research	**47.1**	**27**
2.1	Education	58.2	25
2.1.1	Expenditure on education, % GDP	5.1	47
2.1.2	Government funding/pupil, secondary, % GDP/cap.	29.3	13 ●◆
2.1.3	School life expectancy, years	16.3	27
2.1.4	PISA scales in reading, maths & science	497.0	22
2.1.5	Pupil-teacher ratio, secondary	9.9	28
2.2	Tertiary education	45.0	28
2.2.1	Tertiary enrolment, % gross	62.9	36
2.2.2	Graduates in science & engineering, %	27.9	18
2.2.3	Tertiary inbound mobility, %	5.0	38
2.3	Research & development (R&D)	38.0	29
2.3.1	Researchers, FTE/mn pop.	3,928.6	23
2.3.2	Gross expenditure on R&D, % GDP	1.3	28
2.3.3	Global R&D companies, top 3, mn US$	39.0	39
2.3.4	QS university ranking, average score top 3*	36.0	35
	Infrastructure	**53.0**	**37**
3.1	Information & communication technologies (ICTs)	70.3	38
3.1.1	ICT access*	79.1	28
3.1.2	ICT use*	61.5	45 ◇
3.1.3	Government's online service*	74.6	33
3.1.4	E-participation*	66.1	49
3.2	General infrastructure	35.9	72 ○◇
3.2.1	Electricity output, kWh/cap	5,478.3	36
3.2.2	Logistics performance*	62.3	35
3.2.3	Gross capital formation, % GDP	16.5	109 ○◇
3.3	Ecological sustainability	52.9	16 ●
3.3.1	GDP/unit of energy use	13.0	21
3.3.2	Environmental performance*	71.9	25
3.3.3	ISO 14001 environmental certificates/bn PPP$ GDP	4.9	21
	Market sophistication	**50.3**	**47**
4.1	Credit	46.5	34
4.1.1	Ease of getting credit*	45.0	88 ○
4.1.2	Domestic credit to private sector, % GDP	112.0	21
4.1.3	Microfinance gross loans, % GDP	n/a	n/a
4.2	Investment	35.8	89 ○◇
4.2.1	Ease of protecting minority investors*	60.0	56
4.2.2	Market capitalization, % GDP	27.7	51 ○
4.2.3	Venture capital deals/bn PPP$ GDP	0.0	35
4.3	Trade, competition, & market scale	68.5	38
4.3.1	Applied tariff rate, weighted mean, %	1.6	19
4.3.2	Intensity of local competition†	70.9	56
4.3.3	Domestic market scale, bn PPP$	311.3	51

		Score/Value	Rank
	Business sophistication	**36.5**	**43**
5.1	Knowledge workers	48.4	37
5.1.1	Knowledge-intensive employment, %	36.3	34
5.1.2	Firms offering formal training, % firms	n/a	n/a
5.1.3	GERD performed by business, % GDP	0.6	33
5.1.4	GERD financed by business, %	42.7	35
5.1.5	Females employed w/advanced degrees, %	15.9	40
5.2	Innovation linkages	29.0	64
5.2.1	University/industry research collaboration†	53.2	35
5.2.2	State of cluster development†	53.1	38
5.2.3	GERD financed by abroad, %	7.4	51 ○
5.2.4	JV–strategic alliance deals/bn PPP$ GDP	0.0	68 ○
5.2.5	Patent families 2+ offices/bn PPP$ GDP	0.5	33
5.3	Knowledge absorption	32.0	55
5.3.1	Intellectual property payments, % total trade	1.0	35
5.3.2	High-tech net imports, % total trade	7.5	71 ○
5.3.3	ICT services imports, % total trade	1.5	41
5.3.4	FDI net inflows, % GDP	3.8	39
5.3.5	Research talent, % in business enterprise	30.7	39
	Knowledge & technology outputs	**32.2**	**36**
6.1	Knowledge creation	24.3	40
6.1.1	Patents by origin/bn PPP$ GDP	2.9	34
6.1.2	PCT patents by origin/bn PPP$ GDP	0.6	30
6.1.3	Utility models by origin/bn PPP$ GDP	0.3	39 ○
6.1.4	Scientific & technical articles/bn PPP$ GDP	31.2	8 ●◆
6.1.5	Citable documents H index	29.3	30
6.2	Knowledge impact	48.3	23
6.2.1	Growth rate of PPP$ GDP/worker, %	(0.2)	88 ○
6.2.2	New businesses/th pop. 15–64	5.0	26
6.2.3	Computer software spending, % GDP	0.7	8 ●
6.2.4	ISO 9001 quality certificates/bn PPP$ GDP	24.0	15 ●◆
6.2.5	High- & medium-high-tech manufactures, %	0.2	46
6.3	Knowledge diffusion	24.1	45
6.3.1	Intellectual property receipts, % total trade	0.2	47
6.3.2	High-tech net exports, % total trade	3.0	46
6.3.3	ICT services exports, % total trade	1.8	58
6.3.4	FDI net outflows, % GDP	2.5	24
	Creative outputs	**43.4**	**26**
7.1	Intangible assets	61.0	10 ●◆
7.1.1	Trademarks by origin/bn PPP$ GDP	93.9	17 ●◆
7.1.2	Industrial designs by origin/bn PPP$ GDP	10.6	11 ●◆
7.1.3	ICTs & business model creation†	77.9	14 ●
7.1.4	ICTs & organizational model creation†	64.0	30
7.2	Creative goods & services	31.4	35
7.2.1	Cultural & creative services exports, % total trade	0.5	27
7.2.2	National feature films/mn pop. 15–69	4.2	47
7.2.3	Entertainment & Media market/th pop. 15–69	33.8	22
7.2.4	Printing & other media, % manufacturing	1.3	39
7.2.5	Creative goods exports, % total trade	2.2	24
7.3	Online creativity	20.2	36
7.3.1	Generic top-level domains (TLDs)/th pop. 15–69	18.8	29
7.3.2	Country-code TLDs/th pop. 15–69	38.5	16 ●
7.3.3	Wikipedia edits/mn pop. 15–69	23.4	46
7.3.4	Mobile app creation/bn PPP$ GDP	7.9	61 ○◇

NOTES: ● indicates a strength; ○ a weakness; ◆ an income group strength; ◇ an income group weakness; * an index; † a survey question.
indicates that the country's data are older than the base year; see Appendix II for details, including the year of the data, at http://globalinnovationindex.org.
Square brackets indicate that the data minimum coverage (DMC) requirements were not met at the sub-pillar or pillar level; see page 215 of this appendix for details.

Source: issu de [5] avec l'autorisation.

ANNEXE 3. RESULTATS DE L'ESPAGNE DANS LES DIFFERENTS INDICES ET PILIERS DU GLOBAL INNOVATION INDEX 2018

SPAIN

GII 2018 rank **28**

Output rank	Input rank	Income	Region	Efficiency ratio	Population (mn)	GDP, PPP$	GDP per capita, PPP$	GII 2017 rank
27	23	High	EUR	36	46.4	1,768.6	38,286.0	28

		Score/Value	Rank	
	Institutions	**78.2**	**28**	
1.1	Political environment	73.9	31	
1.1.1	Political stability & safety*	75.9	39	
1.1.2	Government effectiveness*	72.9	26	
1.2	Regulatory environment	78.0	32	
1.2.1	Regulatory quality*	70.0	31	
1.2.2	Rule of law*	70.8	31	
1.2.3	Cost of redundancy dismissal, salary weeks	17.4	69 ○	
1.3	Business environment	82.7	26	
1.3.1	Ease of starting a business*	86.7	69 ○	
1.3.2	Ease of resolving insolvency*	78.7	18	
	Human capital & research	**47.5**	**26**	
2.1	Education	53.8	45	
2.1.1	Expenditure on education, % GDP	4.3	73 ○	
2.1.2	Government funding/pupil, secondary, % GDP/cap.	22.2	41	
2.1.3	School life expectancy, years	17.9	10 ●	
2.1.4	PISA scales in reading, maths & science	491.4	27	
2.1.5	Pupil-teacher ratio, secondary©	12.0	42	
2.2	Tertiary education	42.2	33	
2.2.1	Tertiary enrolment, % gross	91.2	5 ●◆	
2.2.2	Graduates in science & engineering, %	23.9	34	
2.2.3	Tertiary inbound mobility, %	2.7	66 ○◇	
2.3	Research & development (R&D)	46.4	21	
2.3.1	Researchers, FTE/mn pop.	2,719.7	30	
2.3.2	Gross expenditure on R&D, % GDP	1.2	31	
2.3.3	Global R&D companies, top 3, mn US$	74.8	14 ●	
2.3.4	QS university ranking, average score top 3*	50.1	20	
	Infrastructure	**62.8**	**11 ●**	
3.1	Information & communication technologies (ICTs)	84.2	14 ●	
3.1.1	ICT access*	79.8	26	
3.1.2	ICT use*	72.3	26	
3.1.3	Government's online service*	91.3	11 ●	
3.1.4	E-participation*	93.2	7 ●◆	
3.2	General infrastructure	44.4	45	
3.2.1	Electricity output, kWh/cap	5,835.2	35	
3.2.2	Logistics performance*	77.0	23	
3.2.3	Gross capital formation, % GDP	20.6	78 ○	
3.3	Ecological sustainability	59.9	7 ●◆	
3.3.1	GDP/unit of energy use	12.8	24	
3.3.2	Environmental performance*	78.4	12 ●	
3.3.3	ISO 14001 environmental certificates/bn PPP$ GDP	8.1	11 ●◆	
	Market sophistication	**59.4**	**16**	
4.1	Credit	53.8	23	
4.1.1	Ease of getting credit*	60.0	61 ○	
4.1.2	Domestic credit to private sector, % GDP	111.3	22	
4.1.3	Microfinance gross loans, % GDP	n/a	n/a	
4.2	Investment	46.0	46	
4.2.1	Ease of protecting minority investors*	70.0	24	
4.2.2	Market capitalization, % GDP	64.9	26	
4.2.3	Venture capital deals/bn PPP$ GDP	0.0	28	
4.3	Trade, competition, & market scale	78.5	12 ●	
4.3.1	Applied tariff rate, weighted mean, %	1.6	19	
4.3.2	Intensity of local competition*	75.8	22	
4.3.3	Domestic market scale, bn PPP$	1,768.6	16 ◆	

		Score/Value	Rank	
	Business sophistication	**37.8**	**40**	
5.1	Knowledge workers	50.7	34	
5.1.1	Knowledge-intensive employment, %	33.2	40	
5.1.2	Firms offering formal training, % firms	n/a	n/a	
5.1.3	GERD performed by business, % GDP	0.6	30	
5.1.4	GERD financed by business, %	45.8	31	
5.1.5	Females employed w/advanced degrees, %	22.1	18	
5.2	Innovation linkages	28.3	67 ◇	
5.2.1	University/industry research collaboration*	41.0	64 ○	
5.2.2	State of cluster development*	55.1	35	
5.2.3	GERD financed by abroad, %	8.0	47	
5.2.4	JV–strategic alliance deals/bn PPP$ GDP	0.0	73 ○	
5.2.5	Patent families 2+ offices/bn PPP$ GDP	0.6	30	
5.3	Knowledge absorption	34.5	43	
5.3.1	Intellectual property payments, % total trade	1.3	24	
5.3.2	High-tech net imports, % total trade	7.6	69 ○	
5.3.3	ICT services imports, % total trade	1.7	35	
5.3.4	FDI net inflows, % GDP	2.7	62	
5.3.5	Research talent, % in business enterprise	37.0	34	
	Knowledge & technology outputs	**38.9**	**23**	
6.1	Knowledge creation	31.3	31	
6.1.1	Patents by origin/bn PPP$ GDP	2.6	39	
6.1.2	PCT patents by origin/bn PPP$ GDP	0.8	29	
6.1.3	Utility models by origin/bn PPP$ GDP	1.4	20	
6.1.4	Scientific & technical articles/bn PPP$ GDP	21.1	24	
6.1.5	Citable documents H index	58.4	12 ●	
6.2	Knowledge impact	50.4	16	
6.2.1	Growth rate of PPP$ GDP/worker, %	0.5	63 ○	
6.2.2	New businesses/th pop. 15–64	3.2	39	
6.2.3	Computer software spending, % GDP	0.7	5 ●◆	
6.2.4	ISO 9001 quality certificates/bn PPP$ GDP	20.4	17	
6.2.5	High- & medium-high-tech manufactures, %	0.4	26	
6.3	Knowledge diffusion	34.8	24	
6.3.1	Intellectual property receipts, % total trade	0.5	25	
6.3.2	High-tech net exports, % total trade	3.9	40	
6.3.3	ICT services exports, % total trade	3.0	33	
6.3.4	FDI net outflows, % GDP	4.2	14	
	Creative outputs	**41.5**	**29**	
7.1	Intangible assets	55.1	23	
7.1.1	Trademarks by origin/bn PPP$ GDP	56.1	38	
7.1.2	Industrial designs by origin/bn PPP$ GDP	12.9	9 ●◆	
7.1.3	ICTs & business model creation*	74.1	24	
7.1.4	ICTs & organizational model creation*	59.9	42	
7.2	Creative goods & services	28.2	46	
7.2.1	Cultural & creative services exports, % total trade	n/a	n/a	
7.2.2	National feature films/mn pop. 15–69	7.7	19	
7.2.3	Entertainment & Media market/th pop. 15–69	28.0	24	
7.2.4	Printing & other media, % manufacturing	1.3	41	
7.2.5	Creative goods exports, % total trade	1.0	44	
7.3	Online creativity	27.7	28	
7.3.1	Generic top-level domains (TLDs)/th pop. 15–69	27.9	22	
7.3.2	Country-code TLDs/th pop. 15–69	16.5	32	
7.3.3	Wikipedia edits/mn pop. 15–69	58.8	17	
7.3.4	Mobile app creation/bn PPP$ GDP	26.8	35	

NOTES: ● indicates a strength; ○ a weakness; ◆ an income group strength; ◇ an income group weakness; * an index; ' a survey question.
© indicates that the country's data are older than the base year; see Appendix II for details, including the year of the data, at http://globalinnovationindex.org.
Square brackets indicate that the data minimum coverage (DMC) requirements were not met at the sub-pillar or pillar level; see page 215 of this appendix for details.

Source: issu de [5] avec l'autorisation.

Références

Castells, Manuel (2010) The Rise of the Networked Society (2nd edition) Wiley Blackwell, MA, USA

Gibbons, Michael; Limoges, Camille; Nowotny, Helga; Schwartzman, Simon; Scott, Peter and Trow, Martin (1997) The new production of knowledge. The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies. Sage Publ. Ltd., Los Angeles, USA

Global Innovation Index (2018) In https://www.globalinnovationindex.org/Home

Kelly, Kevin (1998) New rules for the new economy. Fourth State, London

Kurzweil, Ray (2005) The Singularity is Near. Viking Books, New York

Manyika, James; Chui, Michael; Bughin, Richard; Dobbs, Jacques; Bisson, Peter; Marrs, Alex (2013) Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. McKinsey Global Institute

UNESCO. Rapport mondial sur la diversité culturelle: culture, créativité et marchés. Paris: UNESCO, 1998.

6. L'INNOVATION DANS LA SOCIÉTÉ ACTUELLE

L'ACCEPTATION SOCIALE DE L'INNOVATION, Aleix Pons et Javier Anatole Pallás (COTEC)

Introduction – Contexte

De Schumpeter à la dernière version du Manuel d'Oslo de l'OCDE, l'innovation est un phénomène qui a été analysé et étudié sous de nombreux angles différents. En réalité, le concept d'innovation a lui-même évolué autant de fois que les auteurs ont posé les questions. La définition du concept d'innovation est passée de la classique «invention introduite sur le marché» de Schumpeter (1911), à des versions élargies comme celle de la dernière version du Manuel d'Oslo (2018), qui considère que l'innovation est «un produit ou un procédé (ou une combinaison de ceux-ci) qui est nouveau ou considérablement amélioré par rapport aux produits et processus précédents de l'unité et qui a été mis à la disposition d'utilisateurs potentiels (produit) ou a été mis en service par l'unité (processus)».

Pour la Fundación Cotec (2015), le terme «innovation» désigne «tout changement (pas uniquement technologique) fondé sur les connaissances (pas seulement scientifiques) qui crée de la valeur (pas seulement économique)». Pour que l'innovation ait lieu, les trois éléments doivent coexister, sans exception. Ces trois facteurs sont fondamentaux pour distinguer l'innovation d'autres concepts qui pourraient être similaires à bien des égards. Dans l'histoire de l'humanité, de nombreux changements créent de la valeur, mais ils ne sont pas forcément fondés sur la connaissance. Ce sont des hasards. De la même manière, les traditions renferment savoir et valeur, mais il est évident qu'elles ne présentent aucun élément de changement. Enfin, un changement fondé sur des connaissances qui ne crée pas de valeur est un simple événement. La proposition de Cotec implique donc d'élargir les paramètres de la définition du concept d'innovation pour inclure de nouvelles manifestations du phénomène qui ne correspondent pas à de nombreuses autres définitions, comme dans le cas de l'innovation sociale, de l'innovation ouverte ou de l'innovation qui se produit dans le secteur public.

Quoi qu'il en soit, une partie importante de la littérature existante sur le sujet tend à considérer la société comme un «utilisateur passif» de l'innovation, omettant le rôle déterminant qu'elle joue dans tout progrès technologique (Acevedo Pineda, 2010).

Ainsi, Cotec considère que dans le contexte actuel d'accélération des progrès technologiques la perception sociale de l'innovation est un facteur crucial à analyser.

La fondation a donc récemment souhaité étudier la perception que la société espagnole a de l'innovation par le biais de deux approches complémentaires. La première était une approche relativement traditionnelle comprenant deux séries de sondages d'opinion auprès d'un large éventail de personnes. Relativement moins

conventionnelle, la deuxième était une expérience de laboratoire utilisant la méthodologie de l'économie comportementale. Dans les sections suivantes, nous présenterons les principales conclusions de ces deux projets ainsi que les conclusions finales des chercheurs.

Deux approches de la perception sociale de l'innovation

Cotec a récemment rapproché la perception sociale de l'innovation au sein de la société en général et son impact sur l'évolution technologique sur le marché du travail en utilisant deux méthodes complémentaires. La première était un sondage d'opinion organisé en deux sessions au cours de l'année, réalisé en collaboration avec SIGMADOS et adressé à l'ensemble de la société. La seconde utilisait une méthode pionnière en Espagne inspirée d'une méthodologie confirmée par les sciences de l'économie comportementale et mise au point en collaboration avec l'Unité mixte de recherche sur le comportement et la complexité sociale (UMICCS).

Enquête sur la perception sociale de l'innovation au sein de la société espagnole

Au printemps 2017, Cotec a lancé la première session du sondage d'opinion sur la perception sociale de l'innovation, en collaboration avec la société d'enquêtes Sigmados. Il s'agit à ce jour de la plus grande enquête réalisée sur ce sujet en Espagne. Au total, 27 questions réparties en deux groupes (perception de l'innovation en Espagne et impact de l'évolution technologique sur le marché du travail) ont été posées à 2 400 personnes dans toute l'Espagne. Un échantillon de cette taille permet de réduire la marge d'erreur pour les données agrégées jusqu'à ± 2,05%, avec un intervalle de confiance de 95,5%.

En été 2018, à l'issue du deuxième cycle de l'enquête Cotec a confirmé son intérêt de renouveler l'initiative chaque année. Il a été observé dans les deux cycles de l'enquête que les variables qui déterminent les différences les plus marquées dans la perception de l'innovation et ses effets socioéconomiques sont liées à la profession de la personne interrogée ainsi qu'à son seuil de revenu et à son niveau d'éducation ; la tendance électorale, l'âge ou le sexe n'ont en revanche que peu d'influence.

Les principaux résultats de cette enquête sont décrits ci-dessous.

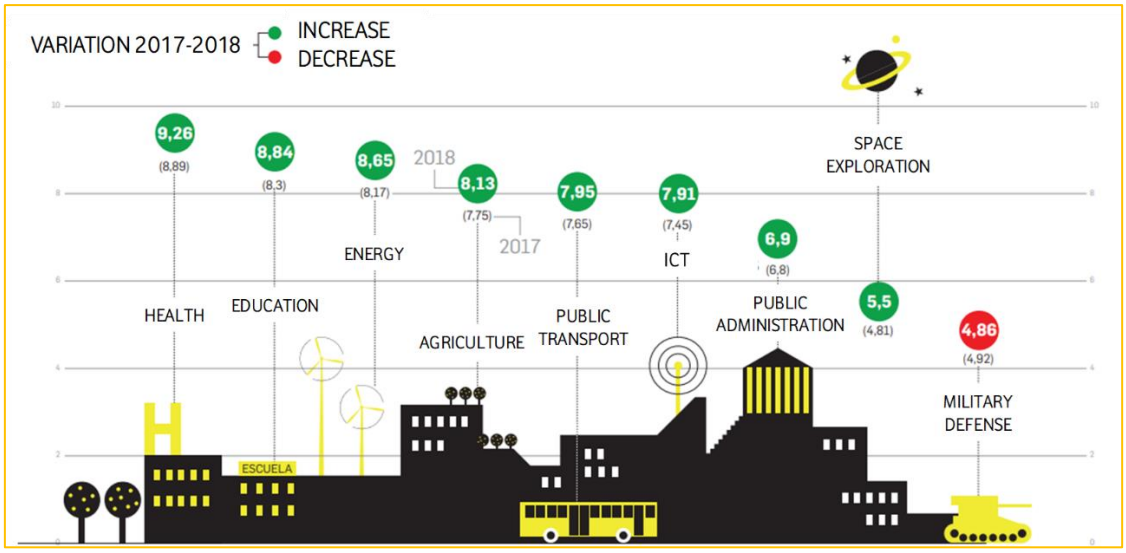
La perception de l'innovation en Espagne

La première partie de l'enquête concerne le concept élargi d'innovation tel qu'il a été adopté par Cotec. De nombreuses questions sont inspirées ou utilisent l'étude «Innovation Population. The UK's views on innovation (2014)», à titre de référence. Cette étude a été conçue par NESTA en collaboration avec ComRes, ce qui permet de comparer les résultats entre l'Espagne et le Royaume-Uni.

La société espagnole a une vision très largement positive du phénomène de l'innovation, bien qu'elle soit de plus en plus consciente des enjeux, des risques et des opportunités que les progrès technologiques entraînent. En 2018, huit citoyens sur dix considéraient l'innovation comme un phénomène «positif» (contre 4,5% qui la jugeaient négative et 13,3% qui la considéraient ni positive ni négative). Cette perception a toutefois diminué en un an, puisqu'en 2017, le pourcentage de participants ayant une opinion favorable de l'innovation atteignait 90%.

En outre, il existe une conviction assez généralisée quant à la nécessité d'innover dans divers secteurs économiques, allant au-delà de l'industrie ou des domaines purement technologiques. En réalité, selon les citoyens la santé, l'éducation et l'énergie (dans cet ordre) sont des domaines prioritaires pour l'innovation. Ce constat correspond largement avec ce qui a été observé au Royaume-Uni, où le secteur de l'énergie occupe la deuxième place, devancé uniquement par les soins de santé.

GRAPHIQUE 1. DANS QUELS DOMAINES CONSIDEREZ-VOUS QU'IL EST LE PLUS IMPORTANT D'INNOVER?



Source: Fundación Cotec

D'autre part, 80% des personnes interrogées estiment que l'engagement en faveur de la R&D+i dans le secteur public et dans le secteur privé est insuffisant. Elles considèrent également que le cadre réglementaire actuel ne soutient pas suffisamment son développement (70%). Ces chiffres restent les même lors des deux sessions de l'enquête.

Toutefois, si l'on compare les performances du pays en matière d'innovation avec les résultats mondiaux, il est surprenant de constater que plus de la moitié de la population (54%) considère que l'Espagne innove à un niveau similaire par rapport à la moyenne de l'Union européenne. De fait, seul un tiers de la population place l'Espagne en dessous de la moyenne sur cette question dans un contexte européen. Cette idée ne reflète pas la réalité, étant donné que la R&D en Espagne est nettement inférieure

à la moyenne européenne (1,2% du PIB en 2017 contre 2,07% pour l'UE) et que l'innovation de l'économie espagnole est qualifiée de «modéré» (la troisième des quatre catégories possibles) dans le Tableau de bord européen de l'innovation. Cette perception dépend fortement du niveau professionnel des citoyens. Les entrepreneurs et les dirigeants sont en effet les plus critiques puisque près de la moitié d'entre eux estiment que le pays appartient au groupe des moins avancés de l'UE dans ce domaine.

Enfin, les citoyens ont adopté de nouveaux modèles commerciaux issus du numérique, tant du point de vue de l'utilisateur (46%) que des fournisseurs de produits et services (25% des personnes interrogées déclarent qu'elles perçoivent des revenus de plateformes en ligne).

Impact de l'évolution technologique sur le marché du travail

Tout comme lors des révolutions industrielles précédentes, ce que l'on appelle «quatrième révolution industrielle» a ravivé les débats classiques sur l'économie et la société, et leur lien avec les évolutions technologiques et le volume d'emploi. Mais cette révolution introduit une autre controverse de nature éthique.

Les Espagnols imaginent un avenir proche dans lequel «les machines» (robots, ordinateurs, algorithmes) joueront un rôle plus important sur le marché du travail et sont de plus en plus inquiets des conséquences socioéconomiques qui en découleront.

De même, deux tiers de la population estiment que «beaucoup» ou «énormément» des emplois actuels seront assurés par des robots ou des ordinateurs dans un avenir proche de 15 ans. C'est une conviction commune et indépendante du profil de la personne interrogée. Relativement peu de participants pensent que seuls «quelques» (23%) ou «peu» (9%) d'emplois risquent d'être automatisés.

Dans le même temps, la perception de la nature disruptive de l'évolution technologique continue a gagné du terrain. Bien que le pourcentage de la population limitant le potentiel de l'automatisation aux tâches strictement routinières soit toujours majoritaire (55%), la proportion de personnes qui considèrent que l'intelligence artificielle et la robotique pourront aussi accomplir des tâches de nature plus créative (37% en 2018, en hausse de 3 points par rapport à 2017) progresse.

Dans tous les cas, les participants semblent avoir conscience que le marché du travail est une entité dynamique résultant de flux de création continus et de la destruction d'emplois ; cela s'explique peut-être par le grand nombre de postes temporaires, qui dépasse la moyenne européenne.

La grande question qui divise la population espagnole en deux moitiés pratiquement égales concerne la capacité de cette quatrième révolution industrielle à compenser le niveau de pertes d'emplois par la création de nouveaux postes. En 2018, 49% des citoyens espagnols déclaraient penser que le changement technologique aurait un effet destructeur sur les emplois, contre 44% qui estimaient qu'il créerait des emplois.

Pour dépasser cet instantané pris à un moment précis, il est nécessaire de souligner la nature temporelle de la perception qu'a la société de cette question. En ce sens, remarquons qu'il existe une tendance à un pessimisme accru, puisqu'en 2017, une nette majorité était convaincue de l'effet positif sur l'emploi (51% contre 44%).

Il serait trop hypothétique d'essayer d'expliquer cette perception plus pessimiste par une seule raison. Il s'agit très probablement d'un ensemble de facteurs, notamment la prolifération dans les médias d'études et d'informations négatives sur l'avenir de l'emploi, ou encore l'importance croissante dans le domaine public des conflits de travail liés aux nouveaux modèles économiques numériques (par exemple la querelle entre les taxis et les chauffeurs privés).

Il est toutefois intéressant de souligner la présence d'un certain sentiment d'immunité dans ce scénario d'évolution lorsque l'on demande aux citoyens d'envisager les effets potentiels sur leurs propres emplois. En 2018, 57% des personnes employées estimaient que leurs emplois n'étaient pas menacés par le processus d'automatisation, soit 10% de plus qu'en 2017. Ce type de dissociation entre la perception de la situation générale et la situation individuelle est relativement normale. En réalité, c'est une tendance récurrente dans les enquêtes sur le climat économique, telles que celles du Centre pour la recherche sociologique (CIS).

C'est tout à fait compatible avec l'existence d'un groupe important de la population active (36% du total) qui reconnaît avoir le sentiment de ne pas être compétitif sur un marché du travail de plus en plus automatisé et numérisé. Plus précisément, environ 7,5 millions de personnes reconnaissent être en situation de vulnérabilité. Ce groupe devrait faire l'objet de l'attention prioritaire des pouvoirs publics et des partenaires sociaux.

Les Espagnols sont donc très divisés quant à la question de savoir si les progrès technologiques sont ou non un générateur net d'emplois. La balance semble cependant plutôt pencher vers le côté des effets potentiellement négatifs en termes d'inégalité sociale. En effet 49% des interrogés pensent que ces évolutions augmentent le niveau des inégalités sociales, soit neuf pour cent de plus que ceux qui pensent le contraire (38%). Rappelons toutefois que lors de la première session de l'enquête, la différence entre les deux était encore plus frappante, avec une différence de 21,6% (56,5% contre 34,9%).

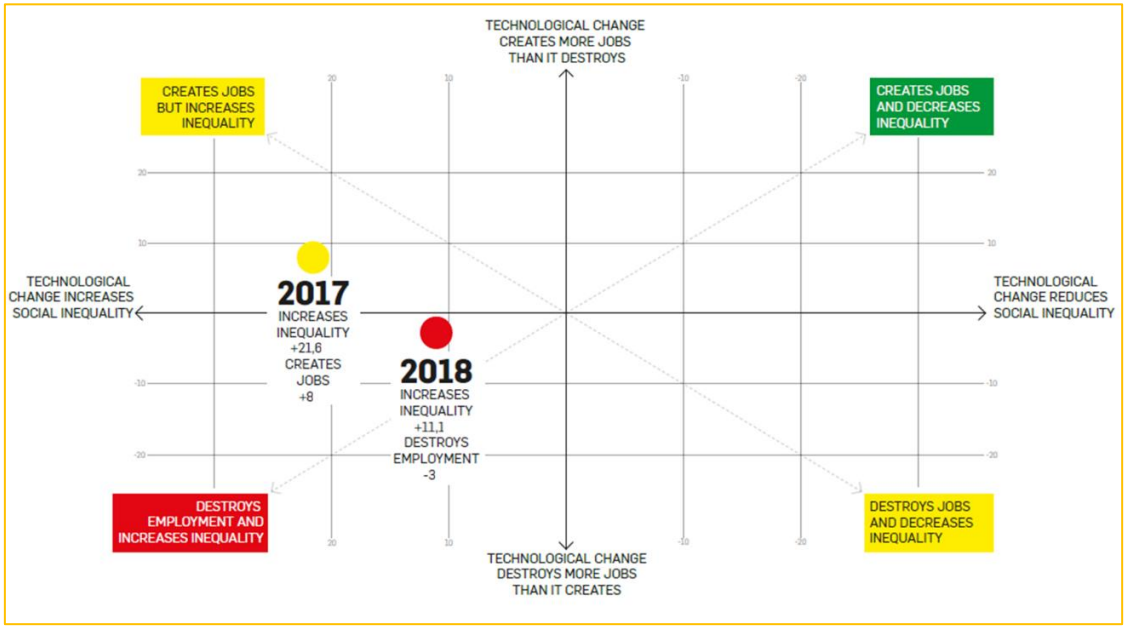
En définitive, la comparaison des deux sessions de l'étude démographique révèle que les citoyens sont de plus en plus préoccupés par l'impact de l'évolution technologique. En 2017, l'effet du changement technologique sur les inégalités sociales était une préoccupation pour certains. En 2018, on retrouve la même inquiétude mais celle-ci s'étend désormais au secteur de l'emploi.

La graphique 2 montre cette évolution de l'opinion de la société espagnole sur la période étudiée. Elle représente la perception sociale de l'impact net des progrès

technologiques en se fondant sur deux variables: le volume d'emploi et les inégalités sociales. Pour les deux enquêtes (2017 et 2018) les points sont représentés graphiquement à partir du résultat net entre les réponses aux deux questions à réponse binaire posées: «Pensez-vous que l'évolution technologique crée plus d'emplois qu'elle n'en détruit?» et «Pensez-vous que l'évolution technologique creuse les inégalités sociales?».

L'opinion publique espagnole semble s'être déplacée du deuxième au troisième quadrant, ce qui signifie que globalement l'une des deux variables (les inégalités sociales) préoccupe davantage que les deux (les inégalités et l'emploi).

GRAPHIQUE 2. PERCEPTION SOCIALE DE L'IMPACT NET DE L'EVOLUTION TECHNOLOGIQUE SUR LE VOLUME D'EMPLOI ET LE NIVEAU DES INÉGALITES SOCIALES. 2017-2018.



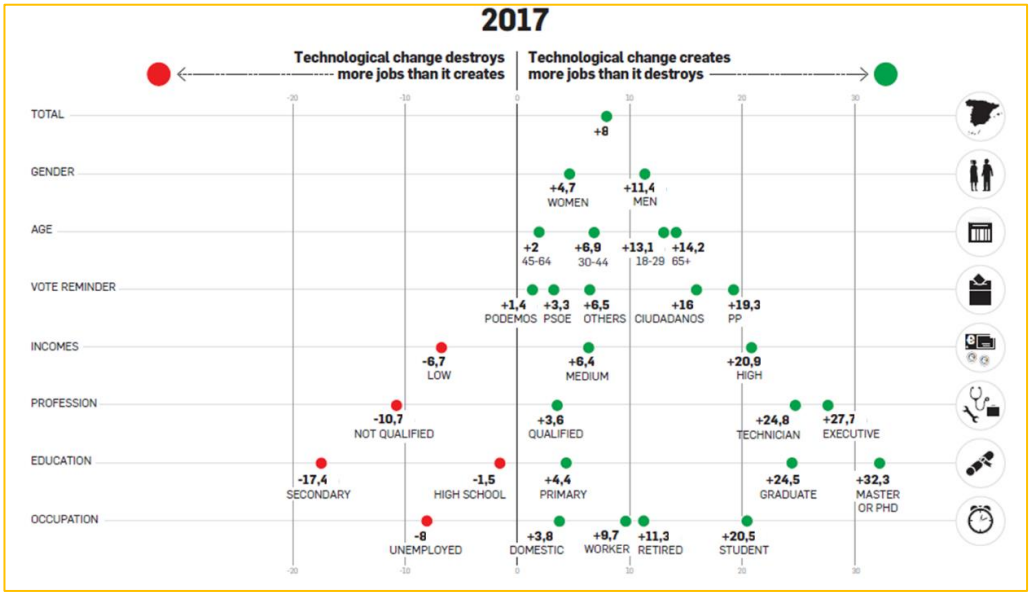
En 2017, la différence positive nette entre les personnes estimant que le changement technologique est un générateur net d'emploi (51,6%) et celles pensant le contraire (43,6%) était de 8. En revanche, l'écart net entre ceux qui pensent que les inégalités augmentent (56,5%) et ceux qui pensent qu'elles se réduisent (34,9%) est de + 21,6. En 2018, l'écart net positif entre ceux qui croient que le changement technologique est un générateur net d'emplois (45,9%) et ceux qui pensent le contraire (48, 9%) est -3. D'autre part, l'écart net entre les personnes interrogées qui pensent que les inégalités se creusent (49%) et celles qui estiment qu'elles diminuent (38%) est de +11,1.

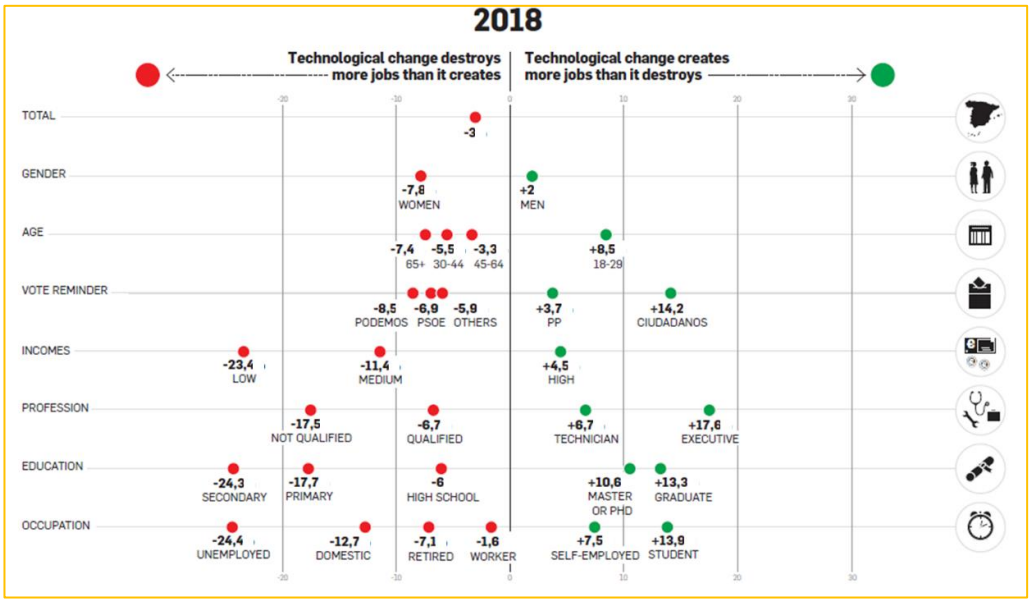
Source: Fundación Cotec

La taille de l'échantillon est suffisante pour représenter pleinement des attitudes vis-à-vis de l'évolution technologique de manière désagrégée. En utilisant les sept catégories qui caractérisent l'échantillon (sexe, âge, rappel de vote, revenu, le niveau

d'éducation, rapport d'occupation et catégorie professionnelle), il est possible d'analyser les réponses sur un total de 28 segments d'intérêts individuellement.

GRAPHIQUE 3. PERCEPTION SOCIALE DE L'IMPACT DE L'EVOLUTION TECHNOLOGIQUE SUR LE VOLUME D'EMPLOI SELON 28 CATEGORIES DIFFÉRENTES. 2017-2018.

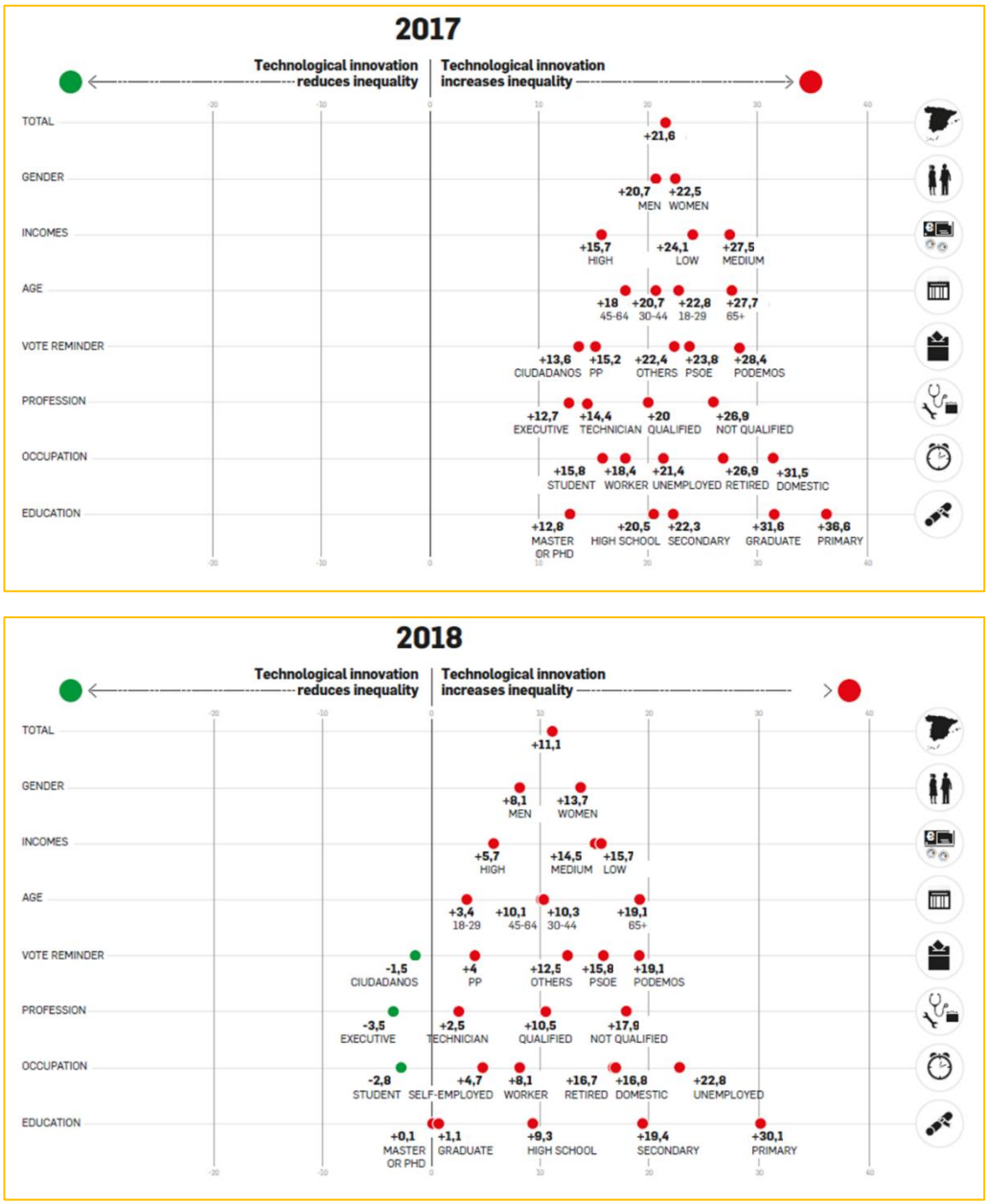




La graphique montre la différence pour chaque segment de la population entre ceux qui pensent que l'évolution technologique «crée plus d'emplois qu'elle n'en détruit» et ceux qui pensent qu'elle «détruit plus d'emplois qu'elle n'en crée». Par exemple, pour l'ensemble de la population (+8 en 2017), il s'agit de la différence entre 51,6% et 43,6%.

Source: Fundación Cotec

GRAPHIQUE 4. PERCEPTION SOCIALE DE L'IMPACT DE L'EVOLUTION TECHNOLOGIQUE SUR LES INÉGALITÉS SOCIALES DANS 28 CATEGORIES DIFFÉRENTES. 2017-2018.



La graphique montre la différence pour chaque segment de population entre ceux qui croient que l'évolution technologique «creuse les inégalités sociales» et ceux qui croient qu'elle «diminue les inégalités». Par exemple, pour l'ensemble de la population en 2017 (+21,6%), il s'agit de la différence entre 57% et 35%.

Source: Fundación Cotec

L'inquiétude que suscitent les effets des mutations technologiques sur le niveau de cohésion sociale est beaucoup plus transversale entre les différents segments de la population que celle liée au volume d'emploi. Pour cet aspect de l'étude, en 2017, les

28 groupes analysés étaient unanimement pessimistes lorsqu'ils répondaient aux questions sur les inégalités sociales. En 2018, la quasi-totalité (25 des 28 groupes) demeurent pessimistes à ce sujet, mais les trois segments spécifiques (à savoir les cadres, les étudiants et les électeurs du parti Ciudadanos) qui étaient les exceptions pensent que les progrès technologiques contribueront à la diminution des inégalités sociales.

L'enquête a interrogé les participants sur le revenu universel de base (RUB), un instrument de politique économique dont on entend de plus en plus parler dans les discussions de nature académique ou politique sur les inégalités sociales. Le revenu universel de base, que l'on appelle aussi revenu minimum inconditionnel, est une forme de sécurité sociale par laquelle tous les citoyens ou résidents d'un pays reçoivent régulièrement, sans aucune condition, une somme d'argent versée soit par le gouvernement, soit par une autre institution publique, indépendamment des autres revenus qu'ils peuvent percevoir. En 2018, plus de la moitié de la population espagnole (54%) était favorable à l'idée d'un mécanisme de revenu universel de base. Cependant, seuls 38% d'entre eux étaient disposés à assumer une augmentation fiscale pour générer les fonds nécessaires pour le payer.

Comme nous l'avons déjà indiqué, l'inquiétude quant à une éventuelle détérioration du niveau de cohésion sociale liée au progrès technologique existe et possède un caractère très transversal. Cependant, les citoyens sont capables de discriminer et d'accorder une valeur différente aux implications des évolutions technologiques en ce qui concerne d'autres types de fractures: l'écart entre les femmes et les hommes, et l'équilibre entre la vie personnelle et la vie professionnelle. Dans ces cas, six Espagnols sur dix estiment que la technologie et l'automatisation faciliteront la réduction de l'écart ; une opinion relativement homogène dans tous les groupes analysés. En revanche, plus de la moitié des répondants (55%) pensent que la technologie contribuera à combler l'écart professionnel entre les hommes et les femmes (en termes de salaire et de participation au marché du travail), bien qu'il existe une légère différence d'opinion selon les sexes. Les femmes sont en effet plus pessimistes (34% des femmes interrogées estiment que la technologie ne contribuera pas à réduire l'écart entre les sexes), que les hommes (31%).

Laboratoire d'économie comportementale de COTEC: l'automatisation et le marché du travail

À l'automne 2018, Cotec a présenté les résultats de la première expérience de son Laboratoire d'économie comportementale (LEC). Cette initiative menée conjointement par l'Unité mixte de recherche sur le comportement et la complexité sociale (UMICCS) a été dirigée par les professeurs Antonio Cabrales, Penelope Hernández et Anxo Sánchez. L'économie comportementale a pour objectif de

modéliser le comportement des individus en intégrant des idées et des concepts issus d'autres domaines tels que la psychologie et la sociologie dans des idées de la théorie économique ; l'économie expérimentale fonctionne quant à elle comme une méthodologie permettant de vérifier et de valider des théories et des hypothèses par la mise en place d'expériences en laboratoire. Pour la première fois en Espagne, l'économie comportementale a été utilisée pour répondre à des questions relatives à l'automatisation et au marché du travail: quelles variables influenceront la mise en œuvre de l'automatisation et dans quelle mesure? Quels seront les effets sur les revenus, les emplois, la productivité et la production? Quel rôle les politiques économiques peuvent-elles jouer pour surmonter les risques potentiels?

La méthodologie utilisée visait à répliquer en toute transparence le contexte de décision des personnes impliquées dans ce marché, c'est-à-dire les employés et les directeurs, afin de comprendre les effets des politiques économiques sur le futur marché du travail. Dans ces expériences, les employés effectuent des tâches de production et prennent des décisions exécutives pour déterminer si ce sont des employés ou des robots qui doivent effectuer les tâches. Grâce à la collaboration du Laboratoire d'économie expérimentale et du comportement (LINEEX) de l'Université espagnole de Valence, des séances expérimentales rassemblant 900 personnes ont pu être organisées. Ces participants ont été sélectionnés sur leur formation et leurs compétences, et ont été considérés représentatifs de la population qui fera son entrée sur le futur marché du travail. Conformément à la méthodologie de l'expérience, les participants recevaient une somme d'argent en fonction de leur performance aux différentes tâches, ce qui les encourageaient à prendre les meilleures décisions possibles, comme cela se produirait sur le marché du travail. Cela fait toute la différence de ce type de recherches par rapport à d'autres formes d'évaluation comme des enquêtes où répondre d'une manière ou d'une autre n'a aucune implication directe pour les personnes interrogées. La première approche est donc plus proche du scénario à l'étude.

L'échantillon a été divisé en groupes et différents scénarios réglementaires, fiscaux et de productivité ont été analysés. Ces scénarios comprenaient la mise en place d'un revenu de base, l'application de taxes sur le remplacement des travailleurs par des machines, des situations de partage des heures de travail entre les employés et les robots, et des situations dans lesquelles les employés étaient complètement remplacés par des machines. Grâce à cette formule à plusieurs scénarios et au grand nombre de participants, il a été possible d'obtenir une image assez complète du processus d'automatisation et de sa perception sociale. Les principales conclusions de cette expérience, qui ne doivent pas être considérées comme des vérités universelles mais plutôt servir de point de départ pour un examen plus approfondi, sont les suivantes:

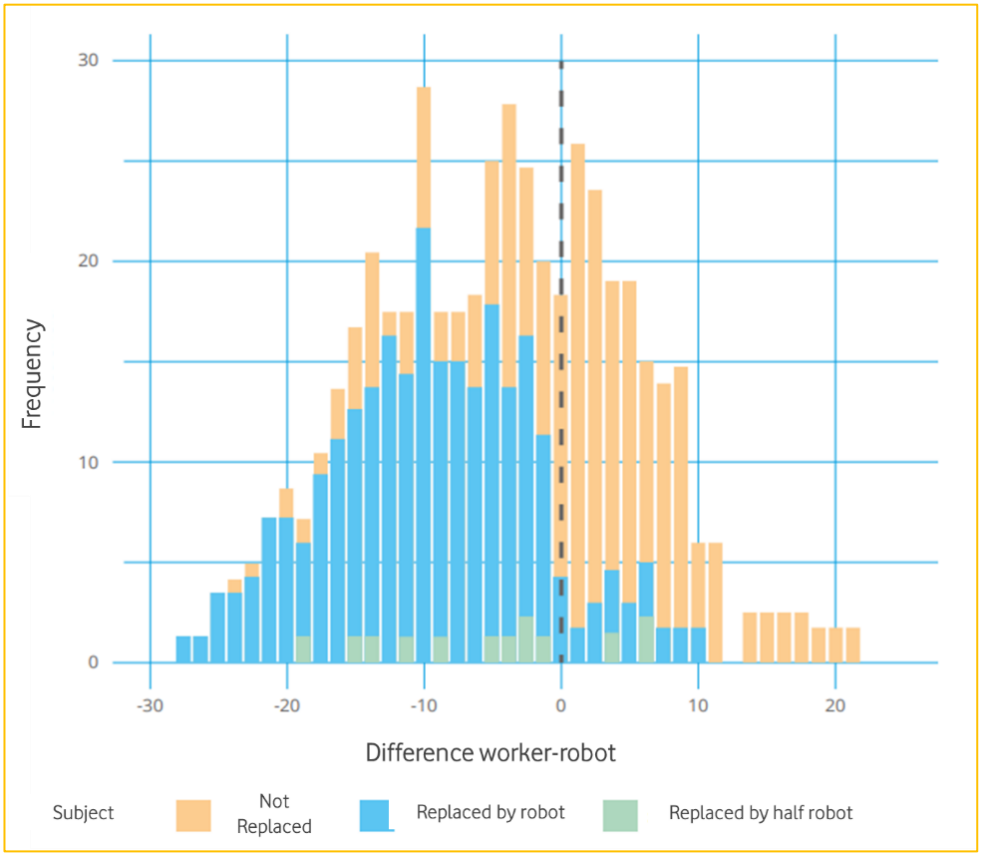
- La menace d'être remplacé par un robot n'a pas d'impact sur la productivité des employés. Le rendement des employés ne varie pas selon qu'il existe ou non un risque que leur poste soit remplacé par un robot.
- Ni le revenu de base ni la taxe sur les robots ne font baisser la productivité des employés. Le fait que les travailleurs reçoivent un revenu de base leur garantissant un salaire par défaut n'a même aucun impact sur leur performance. D'autre part, un employé qui sait qu'un directeur devra payer une taxe s'il remplace son poste par un robot reste tout aussi productif car il se sent moins vulnérable.
- La taxe sur la substitution d'un travailleur fait baisser la probabilité de remplacement. Les directeurs estiment que le coût supplémentaire est déjà suffisamment élevé. Ils n'utiliseront donc un robot que lorsque l'augmentation de la productivité par rapport à l'employé permettra de compenser ce coût.
- Le travailleur n'augmente pas sa productivité lorsqu'il n'a pas été remplacé par un robot plus efficace. Bien que l'on puisse raisonnablement s'attendre à ce que l'employé fournisse un effort supplémentaire afin de conserver son poste lorsqu'il risque d'être remplacé, ce n'est pas le cas.

D'un point de vue macroéconomique, cette étude permet de tirer d'autres conclusions:

- Dans les entreprises qui passent à l'automatisation, la productivité augmente. Cette hausse est exclusivement due aux nouveaux processus installés et non à un effet incitatif sur les travailleurs qui ne sont pas remplacés. D'autre part, il est difficile de défendre une position sur les effets de l'équilibre général. L'augmentation de la productivité dans certains secteurs peut augmenter le poids de ces domaines et donc la productivité globale.
- Tous les travaux potentiellement automatisables ne sont pas remplacés par des machines. De fait, cette étude a montré qu'il existe une «préférence sociale» de la part des dirigeants, qui choisissent de conserver leurs employés dans 30% des cas où ils pourraient utiliser un robot / algorithme jusqu'à 19% plus productif. En tout état de cause, pour étudier les conséquences sur le taux d'emploi global, il est nécessaire d'étudier l'effet indirect et l'effet de substitution dans d'autres secteurs. L'expérience des révolutions industrielles précédentes montre que les taux d'emploi à long terme ne sont pas liés au remplacement des travailleurs par des robots dans différents secteurs.
- La solution consistant à remplacer un employé par un contrat à temps partiel ou à temps partagé n'est pas attrayante. Lorsqu'ils sont confrontés à cette possibilité, les directeurs ne la choisissent pratiquement jamais. Ils préfèrent plutôt remplacer complètement l'employé par un robot ou ne pas le remplacer du tout.

La graphique 5 montre l'histogramme des résultats de l'expérience du Laboratoire en économie comportementale de Cotec, illustrant la casuistique complète des situations, selon que la décision (complète ou partielle) d'automatiser un processus donné est prise ou non.

GRAPHIQUE 5. HISTOGRAMME MONTRANT LA DIFFERENCE ENTRE LA PRODUCTION D'UN EMPLOYE ET CELLE D'UN ROBOT DANS LA PREMIERE PHASE



Source: Fundación Cotec

Malgré ses limites, nous considérons qu'il s'agit d'un domaine de recherche novateur qui présente un grand potentiel de développement et qui peut énormément contribuer à la conception des politiques publiques.

Conclusions

L'interprétation d'une définition plus large du concept d'innovation, telle que celle qui est avancée par la Fundación Cotec, à savoir «tout changement (pas uniquement technologique) fondé sur les connaissances (pas seulement scientifiques)» qui crée de la valeur (pas seulement économique), permet d'inclure différentes manifestations du phénomène, qui ne sont par ailleurs pas couvertes par d'autres définitions, comme l'innovation sociale, l'innovation ouverte ou l'innovation dans le secteur public.

Quoi qu'il en soit, l'un des éléments les plus déterminants quant à l'existence, la stimulation ou l'adoption de l'innovation est bel et bien le facteur humain. C'est la raison pour laquelle Cotec a tenu à associer la perception sociale de l'innovation en général et l'impact que provoque selon la société le progrès technologique sur le marché du travail en particulier. Pour ce faire, deux approches complémentaires ont été utilisées. Premièrement, une approche relativement traditionnelle consistant à sonder un large échantillon de la population. Et deuxièmement, une approche moins conventionnelle prenant la forme d'une expérience de laboratoire utilisant la méthodologie de l'économie comportementale.

Les deux sessions de la macro-enquête Cotec-Sigmados sur la perception sociale de l'innovation en Espagne nous a permis de confirmer que la société espagnole a une vision globalement positive de ce phénomène, bien que les citoyens soient de plus en plus conscients des enjeux, des risques et des opportunités engendrés par les changements technologiques.

- Les citoyens espagnols (80%) considèrent que les investissements en R&D+i, aussi bien dans le public et que dans le privé, sont insuffisants. Dans le même temps, ils déclarent que le cadre réglementaire n'est pas propice au développement (70%).
- De plus, les personnes interrogées ont adopté les nouveaux modèles commerciaux issus du numérique du point de vue de l'utilisateur (46%) et des fournisseurs de produits et services (25% des répondants affirment qu'ils tirent un revenu des plateformes numériques).
- De manière cohérente entre les deux enquêtes, il a été possible d'observer que les variables qui déterminent les principales différences en termes de perception de l'innovation et de ses effets socioéconomiques sont la profession, l'occupation, le revenu et le niveau d'études. Leur effet est beaucoup plus important que le rappel du vote, l'âge ou le sexe.
- Toutes les conclusions vont dans le sens d'une inquiétude croissante suscitée par l'impact que le progrès technologique peut avoir à la fois sur le niveau d'inégalité sociale et sur le volume d'emploi sur le marché du travail.
- Entre les deux sessions de la macro-enquête (la première ayant été réalisée au printemps 2017 et la seconde en été 2018), une augmentation significative de la taille du groupe qui considère que l'évolution technologique entraîne une destruction nette d'emplois (de 44% en 2017 à 49% en 2018) a été enregistrée. De plus, le pessimisme grandissant est une constante dans chacune des 28 catégories dans lesquelles les répondants étaient divisés (S'il reste encore 11 catégories qui estiment que l'innovation est un générateur net d'emplois en 2018, cette opinion bien moins partagée qu'en 2017.).

– À cela s'ajoute le fait qu'un pourcentage important de la population active (36% pour être précis, soit plus de 7,5 millions de personnes) reconnaît ne pas se sentir prête à relever les défis futurs du nouveau marché du travail.

D'autre part, la première expérience menée par le Laboratoire d'économie comportementale (LEC) de Cotec met en lumière l'existence de «préférences sociales» qu'il convient de prendre en compte. Cela signifierait qu'une grande partie de tous les postes potentiellement automatisables ne seront pas automatisés (dans environ 30% des cas où un employé pourrait être remplacé par un robot jusqu'à 20% plus productif, le remplacement n'a pas lieu).

Références

Acevedo Pineda, E. B. (2010). Innovación tecnológica, economía y sociedad: una reflexión necesaria para CTS. Sala de lectura CTS+ i.

Fundación Cotec para la Innovación (2017). I Encuesta de percepción social de la innovación en España. http://informecotec.es/media/PRESENTACION-ESTUDIO-DEMOSCOPICO_IMAGEN-COTEC_VFINAL.pdf.

Fundación Cotec para la Innovación (2018). II Encuesta de percepción social de la innovación en España. http://informecotec.es/media/II-ENCUESTA-PERCEPCI%C3%93N-SOCIAL-DE-LA-INNOVACI%C3%93N-EN-ESPA%C3%91A.pdf.

Cabrales, A., Hernández, P., Sánchez, A. & Fundación Cotec (2018). Laboratorio de Economía del Comportamiento: Automatización y mercado de trabajo. http://informecotec.es/media/COTEC-Automatizacion-mercado-trabajo.pdf.

Nesta (2014). Innovation Population. The UK's views on innovation. https://media.nesta.org.uk/documents/innovation_population_wv.pdf.

OCDE (2018). Oslo Manual 2018, Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition. https://www.oecd.org/science/oslo-manual-2018-9789264304604-en.htm.

LE RÔLE DE L'INNOVATION VU SOUS L'ANGLE DE L'ÉGALITÉ ENTRE LES FEMMES ET LES HOMMES, Mercedes Teruel (Universitat Rovira i Virgili)

Introduction

L'évolution de la composition du marché du travail a donné lieu à une augmentation de l'hétérogénéité de la main-d'œuvre. Au cours des dernières décennies, et dans les pays et régions développées, il est évident que les femmes ont progressé de manière spectaculaire et notamment dans le domaine académique et de la participation au marché du travail. Parallèlement, l'importance des attributs physiques pour la productivité a peu à peu diminué. Malgré ces tendances, des écarts entre les sexes persistent. Tout d'abord, malgré le niveau élevé de qualification des femmes, elles demeurent largement sous-représentées dans les secteurs associés à la science, à la technologie et à l'ingénierie. Deuxièmement, même lorsqu'elles participent à l'innovation, les femmes sont moins bien représentées dans les échelons supérieurs du processus.

Il est fréquent que la promotion de la diversité des sexes au sein des équipes réponde à une volonté de garantir l'égalité des chances. Cependant, la mixité est dans certains cas encouragée dans l'espoir que des équipes composées de femmes et d'hommes parviendront à de meilleures décisions: des décisions socialement plus responsables, plus représentatives de la société et plus performantes dans des domaines comme l'investissement, la gestion interne et la gouvernance corporative. Cette preuve empirique n'a rien d'anecdotique. L'accès aux travailleurs qualifiés impliqués dans le processus d'innovation est crucial, attendu qu'un groupe d'employés plus compétents capables de générer des innovations favorisera la croissance économique. En plus de la qualification, des preuves récentes montrent qu'une main-d'œuvre plus diversifiée favorise l'innovation car des caractéristiques démographiques observables impliquent une diversité de compétences.

Les décideurs internationaux accordent donc une attention toute particulière à la promotion des femmes au sein du système scientifique et d'innovation. Leur objectif est non seulement de rendre l'accès à ce secteur plus équitable, mais aussi d'améliorer la croissance économique par le biais de l'accès d'un plus grand nombre d'employées qualifiées aux activités dans lesquelles elles sont moins bien représentées. L'importance d'intégrer la dimension de genre dans tous les processus d'innovation a été mise en évidence par différentes organisations et notamment la Commission européenne (CE, 2009, 2014, 2019), l'Organisation de coopération et de

développement économiques (OCDE, 2017) et le Forum économique mondial (FEM, 2018).

Disposer d'une équipe qualifiée et diverse est de plus en plus important. L'évolution rapide de technologies telles que l'intelligence artificielle, Big Data et le cloud computing ont des implications importantes en termes de développement d'innovations technologiques et non technologiques. Premièrement, la demande en compétences informatiques peut exacerber les disparités entre les sexes en matière de participation et d'opportunités économiques ; à mesure que les compétences technologiques gagnent en importance sur les marchés du travail, l'écart entre les sexes peut se creuser. D'autre part, en raison des disparités actuelles entre les hommes et les femmes cette technologie à usage général est développée dans de nombreux domaines par une main-d'œuvre en déséquilibre du point de vue du genre, ce qui limite les possibilités d'innovation et d'inclusion. Troisièmement, le faible nombre de femmes dans les technologies de l'information et la demande croissante en compétences dans ce secteur indiquent qu'il existe une opportunité d'élargir le bassin de travailleurs qualifiés.

Le secteur de l'énergie est lui aussi en pleine mutation en raison des progrès technologiques. Ce secteur doit répondre à trois grands enjeux de politique énergétique, ce que l'on appelle le «triangle de l'énergie», à savoir: réforme du marché, changement climatique et sécurité d'approvisionnement. Pour atteindre ces objectifs majeurs, l'innovation joue un rôle crucial. Comme dans d'autres secteurs, les technologies sont un facteur d'accélération des innovations déterminant. Les ressources humaines ont un rôle clé à jouer: celui de faciliter l'adoption de nouvelles technologies et la transformation sectorielle. En Europe, le secteur de l'énergie emploie plus de 950 000 personnes qui génèrent plus de 850 000 millions d'euros en valeur de production (Eurostat - 2017). Attendu le rendement élevé par employé et l'importance stratégique du secteur, il s'avère fondamental, pour les agents publics et privés, d'introduire une perspective de genre pour relever les différents enjeux qui se présentent.

Cette section donne un aperçu des faits concernant le genre et l'innovation, et propose des recommandations en termes de politiques. La suivante présente des résultats théoriques et empiriques sur le genre et l'innovation. La troisième partie présente des arguments sur la diversité des sexes et l'innovation à l'échelle du territoire. Enfin, la dernière partie est consacrée à la formulation de recommandations politiques spécifiques.

Innovation et égalité des sexes: analyse bibliographique

Le rôle de la diversité des genres dans l'innovation occupe une place de plus en plus importante dans la littérature universitaire. Cet intérêt s'explique par la volonté

affirmée de fournir des preuves du lien qui existe entre l'augmentation de la diversification de la main-d'œuvre participant au processus d'innovation et la nécessité d'encourager la productivité et la croissance économique. En théorie, la production de connaissances dépend de la main-d'œuvre et du réservoir de connaissances (Romer, 1990 ; Grossman et Helpman, 1994 ; entre autres). Le nombre de chercheurs que compte une économie est fondamental pour stimuler la production de connaissances. Cependant, avec l'augmentation de la complexité des activités de R&D et d'innovation, il est davantage nécessaire d'accéder à des employés et à des réseaux présentant des connaissances et des capacités plus diverses (Barabasi, 2005, Jones, 2009). Par conséquent, ce n'est plus seulement le nombre de chercheurs qui importe, mais aussi et surtout la diversité de la communauté scientifique qui est essentielle pour la production d'innovation et la stimulation de la croissance économique.

Les articles qui étudient le lien entre la diversité des sexes et la performance des entreprises sont pléthore. Dans ces analyses, le concept de genre va au-delà de la définition biologique du sexe. Une étude de genre élargit donc la compréhension des mécanismes qui entraînent des différences en termes de comportement, de résultats et de perceptions, dans le but de produire une analyse plus ciblée et précise. La principale hypothèse de ces études est que les schémas cognitifs ont tendance à varier systématiquement avec des caractéristiques démographiques observables telles que le sexe (Thomas et Ely, 1996 ; Campbell et Minguez-Vera, 2008). Ces différences peuvent avoir un impact sur les décisions prises dans l'entreprise et sur la performance de l'entreprise. Malgré cette variation, les analyses empiriques que l'on trouve dans la littérature sur l'innovation sont généralement neutres en matière de genre. Toutefois, les articles qui ont analysé le lien entre la diversité et l'innovation ont suscité des arguments théoriques et empiriques relativement controversés.

D'une part, des recherches antérieures ont montré que les équipes composées d'employés dotés de capacités cognitives variées en termes de compétences, connaissances, préférences, capacités et perspectives renforcent les capacités d'innovation d'une entreprise (Laursen, 2012 ; Parrotta et al., 2014 ; Østergaard et al., 2011). Plusieurs mécanismes expliquent cet effet. Premièrement, la diversité génère des décisions de meilleure qualité car elles sont le fruit d'un consensus plus large entre tous les membres de l'équipe (Huberman, 1990 ; Amason, 1996 ; Hong et Page, 2001, 2004). Deuxièmement, la diversité évite les décisions sous-optimales qui surviennent lorsque les individus privilégient les membres de leur propre groupe (King et al., 2011 ; Lee, 2015). Troisièmement, les innovations sont en général le résultat de tâches complexes impliquant la résolution de problèmes. Plus les idées, informations et points de vue existant au sein de l'équipe sont variés, plus les alternatives à évaluer seront nombreuses et donc plus les solutions proposées seront innovantes, en particulier pendant la phase de développement (Miller et Triana, 2009). Quatrièmement, la

diversité entraîne une meilleure compréhension des tâches complexes (Campbell et Minguez-Vera, 2008). Par conséquent, la diversité contribue à absorber et à adapter les connaissances externes pour générer des innovations au sein des entreprises (Nooteboom et al., 2007). En définitive, la diversité des sexes pourrait accroître l'efficacité d'une équipe.

TABLEAU 1. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA DIVERSITÉ DES GENRES POUR LA PERFORMANCE D'UNE ÉQUIPE

AVANTAGES	INCONVENIENTS
– Les compétences et capacités des équipes mixtes sont plus diverses – La diversité des sexes entraîne une meilleure représentation des préférences et des points de vue – Les décisions seront meilleures – Le processus de résolution de problèmes sera plus efficace – Le processus de résolution de tâches complexes sera exécuté plus facilement	– La méfiance, les malentendus et les conflits émotionnels peuvent être plus fréquents au sein des équipes mixtes – Le processus de prise de décision peut être plus long et moins efficace – Certains coûts d'ajustement sont à prendre en compte lors de la transition vers une équipe plus égalitaire.

Source: élaboration personnelle.

À l'inverse, certains arguments théoriques justifient l'existence d'impacts négatifs ou de frictions. Les recherches suggèrent que la diversité démographique peut générer des difficultés dans le processus d'interaction entre les membres de l'équipe. Premièrement, la diversité peut créer de la méfiance, des incompréhensions et des conflits émotionnels. Cela s'explique essentiellement par l'existence de vocabulaires, de priorités et de paradigmes différents. Selon Chowdhury (2005), les gens ont tendance à classer les autres et à percevoir leur propre catégorie comme supérieure. Ce comportement nuit à la communication et à la coopération. Cependant, Pelled et al. (1999) ne constatent aucun impact significatif du genre sur les conflits émotionnels. Deuxièmement, certaines difficultés rendront le processus de prise de décision plus long et moins efficaces (Lau et Murnighan, 1998). Troisièmement, du moins à court terme, le passage à une plus grande diversité a un impact négatif sur la performance, notamment en raison des ajustements au niveau de la dynamique de l'équipe.

Ces arguments suggèrent donc que la diversité enrichit une équipe avec des dotations cognitives variées qui favorisent l'innovation, la créativité et la performance générale. Cependant, des frictions peuvent apparaître (Lazear, 1999 ; Basset-Jones, 2005 ; Chowdhury, 2005). En réponse à ces résultats ambigus, des chercheurs ont mis en avant l'idée selon laquelle il existerait une relation en forme de U inversé entre la diversité et l'innovation (Nooteboom et al., 2007 ; Østergaard et al., 2011 ; Laursen,

2012 ; Lee, 2015). En d'autres termes, les entreprises où la diversité de genre est faible obtiendront de meilleurs résultats en innovation si elles augmentent la mixité de leurs équipes. Mais au-delà d'un certain niveau, les effets négatifs éclipsent les effets positifs et les gains en termes d'innovation diminuent. Cette relation non linéaire s'explique par le fait que les entreprises ont besoin d'une variation associée en matière de connaissances et de compétences pour optimiser leur capacité d'apprentissage. Il semble donc exister un rapport de diversification optimal quand les entreprises parviennent à optimisent leur capacité d'innovation.

Enfin, deux observations doivent être faites. Tout d'abord, la diversité des sexes doit être prise avec d'autres caractéristiques de l'environnement de travail, par exemple, le taux d'occupation et la qualification qui sont des facteurs essentiels. Il ne faut donc pas se limiter à analyser la diversité des sexes, mais aussi chercher à comprendre comment cette caractéristique interagit avec d'autres aspects. Ensuite, il est important de remarquer que pour analyser l'impact que la diversité de genre a sur l'innovation, les résultats ne doivent pas être limités à l'individu. Certaines études suggèrent par exemple que les femmes ont généralement une plus grande aversion pour le risque que les hommes et qu'elles sont moins compétitives. Mais la plupart de ces études se fondent sur l'individu. Sachant que les équipes peuvent présenter leurs propres particularités, rien ne permet d'extrapoler les résultats obtenus au niveau individuel à l'échelon du groupe.

La dimension territoriale du genre et de l'innovation

Les entreprises étant situées dans des zones géographiques bien spécifiques, il est également nécessaire d'intégrer une dimension dans laquelle les caractéristiques du marché du travail, des investissements en R&D, du capital social et des politiques propres au territoire influencent la performance de l'entreprise. Les études analysant l'impact sur la diversité des sexes et l'innovation sont essentiellement axées sur l'entreprise. Cependant, dans chaque territoire, des employés présentant certaines caractéristiques auront une productivité plus élevée ou plus faible en fonction du réservoir de connaissances existant, mais aussi de la facilité d'accéder aux ressources de R&D. Par conséquent, l'analyse de l'effet de la diversité des sexes sur l'innovation et la génération de connaissances devrait également prendre en compte ces particularités régionales.

Les mécanismes par lesquels la diversité au sein d'une région influence la production de nouvelles connaissances passent par la capacité de chaque individu à percevoir, évaluer et exploiter commercialement de nouvelles connaissances (Audretsch et al., 2010). Les divers agents forment un «melting pot» (Forida, 2002) qui augmente leur capacité d'apprentissage et les retombées en matière de connaissances sur tous les agents. Les retombées de l'apprentissage et des connaissances sont alors captées par

des agents économiques qui favoriseront l'innovation sur un territoire en utilisant différentes approches.

TABLEAU 2. CLASSEMENT DES PAYS EN FONCTION DE LEUR ENVIRONNEMENT D'INNOVATION ET LEUR CADRE D'ÉGALITÉ DES SEXES				
	PAYS SELON LEUR NIVEAU D'ÉGALITÉ DES SEXES			
PAYS SELON LEUR TABLEAU DE BORD EUROPÉEN DE L'INNOVATION	Leaders en matière d'égalité des genres, faible écart femmes-hommes, davantage de femmes dans la recherche universitaire	Pays nouvellement actifs, quelques femmes dans la recherche universitaire	Pays nouvellement actifs avec plus de femmes dans la recherche universitaire	Pays relativement inactifs, certains comptant davantage de femmes dans la recherche universitaire
	GROUPE (1)	**GROUPE (2)**	**GROUPE (3)**	**GROUPE (4)**
LEADERS DE L'INNOVATION	Finlande, Suède, Danemark	Pays-Bas, Suisse		Luxembourg
PAYS TRES INNOVANTS	Norvège, Islande	Autriche, Belgique, Allemagne	Irlande	Israël
PAYS MODEREMENT INNOVANTS			Espagne	République tchèque, Portugal, Malte, Estonie, Chypre, Italie, Hongrie, Grèce, Pologne, Croatie, Bulgarie, Roumanie
PAYS COMBLANT LEUR ECART				
Source: élaboration personnelle à partir de CE (2018) et CE (2009).				

Au niveau empirique, peu d'articles se sont réellement penchés sur la dimension territoriale de la diversité. Des preuves ont été apportées du rôle de la diversité sur l'innovation au niveau régional (Niebuhr, 2010 ; Dohse et Gold, 2014) et au niveau national (Alesina et al, 2016 ; Brunow et Brenzel, 2012). Cependant, ces contributions sont principalement fondées sur la culture et la nationalité et ne tiennent pas compte de la dimension de genre (Teruel et Quiroz, 2019). Néanmoins, la plupart des travaux universitaires disponibles mettent en évidence que les régions où la diversité est la plus forte ont tendance à être plus innovants que les autres. Le volume des fonds accordés a une influence évidence sur les ressources en R&D disponibles au sein d'une économie et la productivité de ces fonds augmente lorsque la diversité est plus grande.

Toutefois, certains économistes rappellent qu'il convient de faire preuve de prudence (Syrett et Sepulveda, 2011). De toute évidence, la promotion de l'innovation doit être accompagnée par tout un ensemble de politiques sociales et économiques. Le Tableau

2 montre cette complexité en recoupant la capacité d'innovation régionale et le cadre institutionnel de chaque pays et contexte politique. La comparaison entre le classement des pays en matière d'innovation (selon le Tableau de bord européen de l'innovation) et leur niveau d'égalité entre les femmes et les hommes met en évidence des caractéristiques intéressantes (Tableau 2).

Premièrement, les pays les mieux placés dans le classement en termes d'innovation sont ceux qui ont appliqué activement des politiques d'égalité des sexes. Il semble donc qu'il y ait une corrélation positive entre la force de l'innovation d'un pays et l'importance de l'égalité entre les hommes et les femmes. Deuxièmement, les à la traîne en matière d'innovation se caractérisent par une forte proportion de femmes dans la recherche universitaire. Les résultats des pays des groupes (3) et (4) laisseraient donc penser que les entreprises privées innovantes sont moins nombreuses et que l'accès des femmes au système public de R&D serait relativement équitable.

Si l'on considère le pourcentage de femmes qui travaillent (Tableau 3), on constate que la présence des femmes sur le marché du travail a augmenté au fil du temps, pour atteindre 46% en 2017. Cependant, il existe des variations considérables. C'est dans le secteur des services que la présence féminine est la plus importante et en particulier dans les services à forte intensité en connaissances, contrairement aux secteurs de haute technologie où la part des femmes n'atteint que 26%. Dans les activités économiques de génération d'électricité, de gaz, de vapeur et de climatisation, l'approvisionnement en eau et la construction, les femmes représentent 12,1% des employés. Bien que cette proportion augmente plus vite que le total des emplois, le taux de croissance reste très modeste.

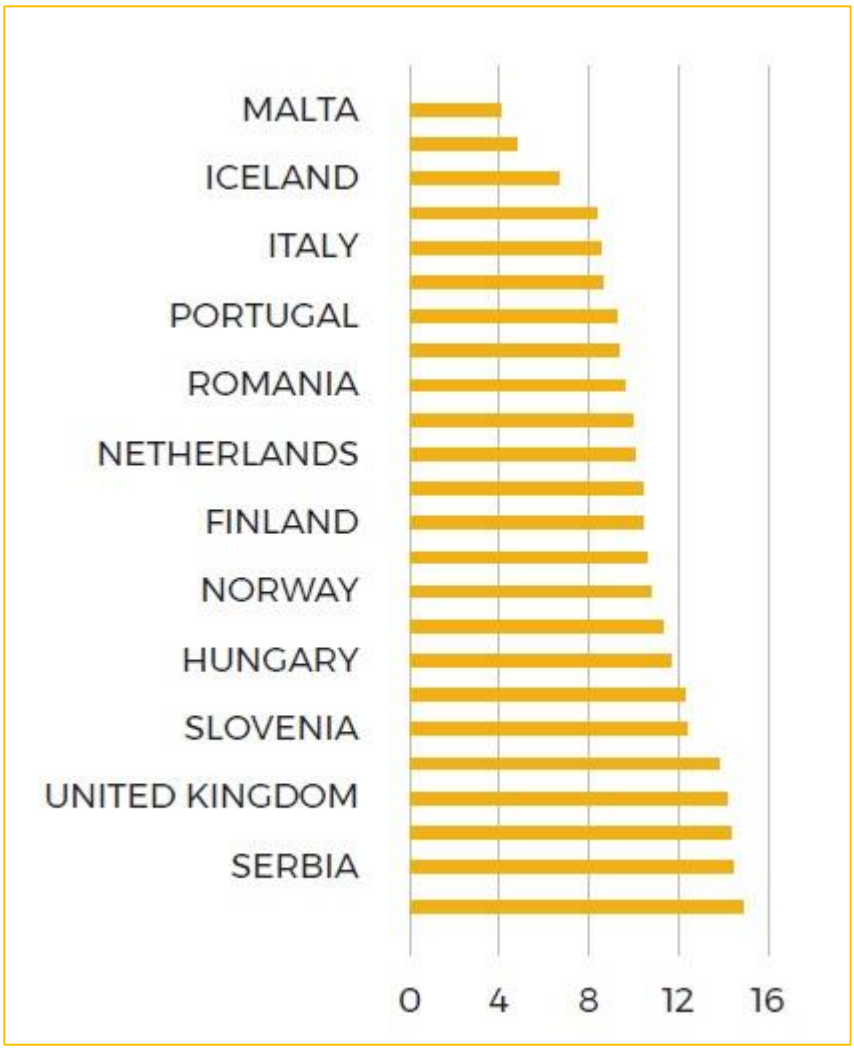
TABLEAU 3. POURCENTAGE DE FEMMES EMPLOYÉES DANS L'UE-28

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Évolution 2008-2017
Total des emplois	44,8	45,3	45,4	45,6	45,7	45,9	45,9	45,9	45,9	46,0	1,19
Secteurs à moyenne et moyenne-haute technologie	26,2	26,2	26,2	26,5	26,5	25,9	25,9	25,9	26,1	26,2	-0,07
Secteurs à faible et moyenne technologie	32,5	32,0	31,3	31,3	31,4	31,5	31,7	31,5	31,2	31,6	-0,89
Services à forte intensité en connaissances	58,2	58,4	58,4	58,4	58,5	58,7	58,7	58,7	58,8	58,9	0,72
Services non intensifs en connaissances	49,0	49,3	49,3	49,3	49,2	48,9	48,9	48,7	48,7	48,3	-0,68
Alimentation en électricité, gaz, vapeur et climatisation ; alimentation en eau et construction	10,8	10,7	10,9	11,3	11,5	12,0	11,9	11,8	11,7	12,1	1,29

Source: élaboration personnelle à partir d'Eurostat.

La graphique 1 présente les caractéristiques hétérogènes du pourcentage de femmes dans la population active de chaque pays. Dans l'ensemble, la sous-représentation des femmes dans l'énergie et dans d'autres secteurs est plus forte dans certains pays que dans d'autres. La variation nationale est considérable (entre 4% et 14,5%). L'Autriche, le Royaume-Uni, la Lituanie, la Slovénie et la Suisse sont les pays où la proportion de femmes est la plus élevée (plus de 12%). À l'inverse, c'est à Malte, en Turquie et en Islande que ce pourcentage est le plus bas (moins de 8%). Au niveau sectoriel, on constate donc que les différences entre les sexes varient significativement entre les pays.

GRAPHIQUE 1. POURCENTAGE DE FEMMES TRAVAILLANT DANS LE SECTEUR DE L'ALIMENTATION EN ÉLECTRICITÉ, GAZ, VAPEUR ET CLIMATISATION ; ALIMENTATION EN EAU ET CONSTRUCTION



Source: élaboration personnelle à partir d'Eurostat

Ces données montrent plusieurs éléments intéressants. Premièrement, les pays les plus innovants sont plus actifs en matière de définition de politiques d'égalité des

sexes. Deuxièmement, la participation des femmes sur le marché du travail stagne. Troisièmement, la participation n'est pas homogène au niveau sectoriel. Quatrièmement, il existe une certaine hétérogénéité entre les pays. Enfin, bien que de nombreux facteurs influencent l'innovation, la coordination des actions de promotion de l'égalité des sexes dans les secteurs où les femmes sont peu représentées doit être une question centrale pour favoriser l'innovation dans le secteur public et le secteur privé afin de déployer l'excellence créative et en faire bénéficier toute la société.

Implications politiques

Compte tenu de la persistance des inégalités entre les femmes et les hommes au niveau sectoriel, il est clair que pour essayer de promouvoir l'équité sur le marché du travail il est nécessaire de s'attaquer aux causes profondes. Premièrement, dans des secteurs tels que l'énergie, mais plus généralement dans tous les secteurs de haute technologie, la parité est loin d'être une réalité. Ce manque de diversité peut nuire à l'innovation et à la capacité de production de connaissances. De plus, avec l'actuelle tendance à l'intensification des nouvelles technologies, l'écart entre les femmes et les hommes au sein des employés possédant des compétences en informatique ne fera qu'augmenter. Cela signifie qu'une partie importante du marché du travail risque d'être déconnectée du processus d'innovation et de transformation des secteurs. La persistance de cette disparité nécessite une approche plus globale des politiques en matière d'égalité des sexes.

L'évolution vers l'égalité des sexes est lente et ne peut être considérée pour acquise. Le fait que ces désavantages perdurent implique qu'il est impératif d'adopter un ensemble de mesurer en faveur de l'égalité entre les femmes et les hommes dans les domaines de l'informatique et de la science, au sein de l'UE afin d'améliorer le degré d'innovation aussi bien des entreprises que des pays. Les recommandations suivantes sont organisées par objectifs, lesquels sont présentés comme un ensemble de mesures:

Objectif 1. La parité au sein des équipes

Pour accroître la productivité, le premier objectif consiste non seulement à avoir des employés plus qualifiés, mais aussi une équipe plus diversifiée. La diversité est nécessaire, que ce soit pour des raisons économiques (amélioration de l'efficacité grâce à l'optimisation des ressources humaines), ou pour améliorer la qualité des connaissances et de l'innovation en augmentant la créativité et en rapprochant la science de la société. Le concept de diversité des genres est également intégré en tant qu'élément clé de la bonne gestion des politiques de recherche et d'innovation.

1. Identifier la composition par sexe de la main-d'œuvre au sein des différentes professions. Une analyse horizontale et verticale montrera la capacité de chaque organisation de recruter et promouvoir ses employés.

2. Concevoir des politiques internes pour recruter et promouvoir en tenant compte de différentes caractéristiques individuelles. La promotion doit prendre en compte une série d'aspects différents qui comprennent, entre autres, le niveau d'éducation et l'ethnie. La procédure de recrutement et de promotion doit être fondée sur le mérite tout en recherchant des qualités complémentaires aux autres membres de l'équipe.
3. Définir des mesures qui facilitent la promotion des deux sexes et éliminent les éventuelles barrières. L'idée est d'analyser les obstacles potentiels qui empêchent aux employés actuels d'évoluer. La mise en œuvre de mesures facilitant l'équilibre entre la vie professionnelle et la vie personnelle et le mentorat interne peut faire partie des stratégies envisagées.

Objectif 2. Des innovations sexospécifiques.

Les innovations de produits et de services se caractérisent par l'acceptation de l'utilisateur final. Lors du lancement de produits et de services, les agents, qu'ils soient publics ou privés, doivent tenir compte des particularités de l'utilisateur final. Pour renforcer les innovations et le bien-être social, il est nécessaire de surmonter les préjugés sexistes dans la production de connaissances en intégrant l'analyse sexospécifique dans le processus d'innovation. Cet objectif vise à saisir les besoins et les exigences des différents utilisateurs au cours du processus d'innovation.

1. Identifier les préjugés sexistes dans le développement d'innovations. Il est essentiel d'analyser si les innovations prennent en compte les caractéristiques de genre de l'utilisateur final. Des innovations peuvent être développées par un seul sexe en pensant principalement à l'utilisateur final du même sexe. Le fait d'analyser s'il existe des préjugés de genre entraînera d'autres innovations et le produit sera plus sensible aux caractéristiques des individus.
2. Systématiser l'approche sexospécifique. Il est nécessaire de prendre du recul et de mettre en œuvre une stratégie d'innovation pour tenir compte du genre dans la production d'innovations. Cette mesure vise à définir une stratégie commune pour tenir compte de la dimension de genre pendant le processus d'innovation. En ce sens, les équipes d'innovation doivent prendre en compte les différences entre les agents. Par exemple, la procédure de recherche afin de connaître les exigences et les besoins de l'utilisateur final doit introduire une dimension féminine et une dimension masculine pour détecter les besoins spécifiques de chaque groupe.

Objectif 3. Culture de l'innovation spécifique au genre.

L'intégration de la dimension de genre doit imprégner la culture de l'entreprise comme une ressource pour stimuler la créativité. Cet objectif concerne la

stimulation de l'analyse de genre dans la recherche, et l'évaluation, de l'excellence.

1. Utiliser une analyse de genre en tant que ressource pour renforcer l'excellence scientifique. Concevoir des analyses genre dans la recherche fondamentale et appliquée.
2. Mettre en place des formations sur la question de l'égalité des sexes. Le processus d'innovation doit refuser l'idée qu'une augmentation de la participation des femmes conduira automatiquement à des innovations sensibles au genre. Tout le monde (hommes et femmes) peut être formé aux méthodes d'analyse comparative entre les sexes.

Les mesures précédentes sont axées sur l'échelon de l'entreprise. Cependant, les différences au niveau sectoriel et national indiquent qu'il doit exister une complémentarité entre les politiques et les agents afin de tirer parti du réservoir de talents en innovation existant, ainsi qu'un changement culturel en termes de remise en cause des rôles traditionnels de genre. L'une des questions essentielles est que, pour progresser vers une société de la connaissance véritablement développée, les politiques d'égalité des sexes doivent être constamment mises en œuvre et adaptées au fil du temps. En outre, elles doivent être adaptées au secteur et au pays. La coopération entre les agents privés et publics sera fondamentale pour y parvenir.

Références

Alesina, A., Harnoss, J., & Rapoport, H. (2016). «Birthplace Diversity and Economic Prosperity». *Journal of Economic Growth*, 21(2), 101-138.

Amason, A. C. (1996). «Distinguishing the Effects of Functional and Dysfunctional Conflict on Strategic Decision Making». *Academy of Management Journal*, 39, 123–48.

Audretsch, D., Dohse, D., & Niebuhr, A. (2010). «Cultural Diversity and Entrepreneurship. A Regional Analysis for Germany». *Annals of Regional Science*, 45, 55-85.

Barabasi, A. L. (2005). «The Origin of Bursts and Heavy Tails in Human Dynamics». *Nature*, 435(7039), 207.

Brunow, S., & Brenzel, H. (2012). «The Effect of a Culturally Diverse Labour Supply on Regional Income in the EU». *Empirica*, 39(4), 461-485.

Campbell, K., & Mínguez-Vera, A. (2008). «Gender Diversity in the Boardroom and Firm Financial Performance». *Journal of Business Ethics*, 83(3), 435-451.

Chowdbury, S. (2005). «Demographic Diversity for Building an Effective Entrepreneurial Team: Is It Important?», *Journal of Business Venturing*, 20, 727-746.

Cozzens, S. E. (2004). «Gender Issues in US Science and Technology Policy: Equality of What?» in European Commission, *Gender and Excellence in the Making*, Office des publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg, pp. 169-174.

Dohse, D., & Gold, R. (2014). «Determining the impact of cultural diversity on regional economies in Europe», WWWforEurope working paper 58. https://www.econstor.eu/handle/10419/125710

Commission européenne (2009). *The Gender Challenge in Research Funding. Assessing the European national scenes*, Office des publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg.

Commission européenne (2012). *Meta-analysis of Gender and Science Research*, Directorat général pour la Recherche et l'Innovation, Bruxelles.

Commission européenne (2014). *Gender Equality Policies in Public Research*, Directorat général pour la Recherche et l'Innovation, Bruxelles.

Commission européenne (2018). *European Innovation Scoreboard (2018)*, Directorat général pour le marché interne, l'industrie, l'entrepreneuriat et les PME. Luxembourg.

Commission européenne (2019). *She Figures 2018*, Directorat général pour la Recherche et l'Innovation, Bruxelles.

Florida, R. (2002). *The Rise of the Creative Class*, New York: Basic Books.

Hong, L., & Page, S. (2001). «Problem Solving by Heterogeneous Agents». *Journal of Economic Theory*, 97(1),123-163.

Hong, L., & Page, S. (2004). «Groups of diverse problem solvers can outperform groups of high-ability problem solvers». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(46), 16385-16389.

Huberman, B. (1990). «The Performance of Cooperative Processes». *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 42(1), 38-47.

King, E. B., Dawson, J. F., West, M. A., Gilrane, V. L., Peddie, C. I., & Bastin, L. (2011). «Why Organizational and Community Diversity Matter: Representativeness and the Emergence of Incivility and Organizational Performance». *Academy of Management Journal*, 54, 1103–1118.

Lau, D. C., & Murnighan, J. K. (1998). «Demographic Diversity and Faultlines: The Compositional Dynamics of Organizational Groups», *Academy of Management Review*, 23, 325–340.

Laursen, K. (2012). «Keep Searching and You'll Find: What Do We Know about Variety Creation through Firms' Search Activities for Innovation?». *Industrial and Corporate Change*, 21(5), 1181-1220.

Lee, N. (2015). «Migrant and Ethnic Diversity, cities and Innovation: Firm Effects or City Effects?». *Journal of Economic Geography*, 15, 769-796.

Miller, T., & Triana, M.del C. (2009). «Demographic Diversity in the Boardroom: Mediators of the Board Diversity-Firm Performance Relationship». *Journal of Management Studies*, 5(5), 755-786.

Niebuhr, A. (2010). «Migration and Innovation: Does Cultural Diversity Matter for Regional R&D Activity?». *Papers in Regional Science*, 89, 563–585.

Nooteboom, B., Vanhaverbeke, W., Duysters, G., Gilsing, V., & Van Den Oord, A. (2007). «Optimal Cognitive Distance and Absorptive Capacity». *Research Policy*, 36(7), 1016-1034.

Organisation de coopération et de développement économiques (2017): *The Pursuit of Gender Equality: An Uphill Battle*, Éditions OECD, Paris. http://dx.doi.org/10.1787/9789264281318-en

Østergaard, C. R., Timmermans, B., & Kristinsson, K. (2011). «Does a Different View Create Something New? The Effect of Employee Diversity on Innovation». *Research Policy*, *40*(3), 500–509.

Parrotta, P., Pozzoli, D., & Pytlikova, M. (2014). «The Nexus between Labor Diversity and Firm's Innovation». *Journal of Population Economics*, 27: 303- 364.

Pelled, H.L., Eisenhardt, K.M., & Xin, K.R. (1999). «Exploring the Black Box: an Analysis of Work Group Diversity, Conflict, and Performance». *Administrative Science Quarterly* , 44 (1), 1–28.

Romer, P. M. (1990). «Capital, labor, and productivity». *Brookings papers on economic activity. Microeconomics*, 337-367.

Syrett, S., & Sepulveda, L. (2011). «Realising the Diversity Dividend: Population Diversity and Urban Economic Development». *Environment and Planning A*, 43, 487–504.

Teruel, M., & Quiroz, P. (2019). «La Diversidad de Género: Factor de Impulso de la Innovación», *Revista de Economía Industrial*, à venir.

Thomas, D., & Ely, R. (1996). «Making differences matter». *Harvard Business Review*, 74(5), 79-90.

Forum économique mondial (2018). *The Global Gender Gap Report 2018*, Forum économique mondial, Genève.

7. CV RÉSUMÉS

JOAN BATALLA, Éditeur

Joan Batalla est directeur général de la *Fondation pour la durabilité énergétique et environnementale (FUNSEAM)*, une activité qu'il concilie avec son travail de recherche en tant que maître de conférences en durabilité de l'énergie et son poste de professeur à l'Université de Barcelone. Fort de plus de 20 ans d'expérience dans le domaine de l'économie, de l'industrie et de l'énergie, sa spécialité est la régulation de l'énergie. De 2005 à 2013, M. Batalla a développé sa carrière professionnelle en travaillant au sein de la Commission nationale de l'énergie (CNE), un organisme dont il est membre du conseil d'administration depuis 2011. Dans le secteur privé, il est partenaire fondateur d'une société de services d'énergie, *Master Renovables*, qui opère dans le secteur des énergies renouvelables. Il est titulaire d'une licence en économie de l'Université de Barcelone et d'un doctorat en économie de l'Université Rovira i Virgili dont la thèse a été récompensée par le Prix extraordinaire de doctorat. Il a complété sa formation par un programme de direction générale (PDG) à l'IESE Business School.

JOSE GARCÍA-QUEVEDO, Éditeur

Jose García-Quevedo est professeur d'économie à l'Université de Barcelone. Il est également chercheur à l'Institut économique de Barcelone (www.ieb.ub.edu). Il a publié des articles dans des journaux internationaux (Energy Economics, Energy Policy, Industrial and Corporate Change, Research Policy, Technology Analysis & Strategic Management, Small Business Economics, Regional Studies, Kyklos, entre autres). Il a travaillé en tant que chercheur visiteur à l'UNU-MERIT (Maastricht, Pays-Bas) et au SPRU (Université du Sussex). Ses recherches portent sur l'économie de l'innovation et

MARÍA LUISA CASTAÑO

Maria Luisa Castaño est, depuis 2017, la directrice du département d'Énergie du CIEMAT, l'une des unités centrales au sein de la structure de cette entité. Elle est également membre du groupe d'experts des «100 de COTEC» pour l'objectif de développement durable: Énergie non polluante à un prix abordable. Elle est également l'une des 300 leaders du Premier Sommet sur le Changement climatique et l'innovation de l'entité Advanced Leadership Foundation. Maria Luisa Castaño possède un diplôme en Chimie de l'Université de Valladolid (1984), et une spécialisation en politiques publiques pour la recherche, le développement et l'innovation de l'Institut national d'administration publique (2008).

GILLES CHARIER

Gilles Chariere est ingénieur agronome. Il a commencé sa carrière en 1985 en tant qu'attaché économique auprès de l'ambassadeur français à Ottawa. Entre 1987 et 2005 il a travaillé au sein de grandes entreprises (IBM et UBITRADE), en tant que responsable du service Développement et Ventes.

Spécialiste du développement durable et particulièrement impliqué dans ce domaine, il choisit, en 2005, de rejoindre BECITIZEN, une entreprise de conseil, où il est nommé directeur de Mission Zéro Énergie et Bâtiments à énergie positive. En 2006, M. Charier rejoint la division cluster compétitivité de DERBI en tant que directeur général. Depuis lors il est à la tête de la direction générale de la division et intervient au sein d'organismes nationaux, en particulier dans les groupes de travail sur la stratégie nationale pour la transition énergétique.

RUI CARTAXO

Rui Cartaxo est professeur adjoint à la Lisbon School of Economics and Management de l'Université de Lisbonne. Il est titulaire d'une maîtrise en sciences économiques et gestion en science, technologie et innovation et d'un doctorat en Économie. Son principal domaine de recherche est l'économie de l'innovation. Il a travaillé chez Portugal Telecom et a été détaché en tant qu'expert national auprès de la DG XIII de la Commission européenne (1990/93). Il est intervenu en tant qu'expert auprès de la DG XIII de la CE et à INFSO en tant qu'évaluateur, réviseur et rapporteur de FP4 à FP6, Ten-Telecom et eTEN et en tant qu'observateur indépendant pour les évaluations des appels à propositions sur les TIC de la CE pour FP7 et H2020.

CECILIA HINOJOSA

Elle est titulaire d'une licence en droit international et d'un master en études européennes et internationales de l'Institut National Universitaire Champollion. Actuellement responsable de projet européen à l'université Toulouse II Paul Sabatier, Mme Hinojosa gère des projets dans le secteur de l'énergie financés par le Fonds de développement régional européen et des projets financés dans le cadre du programme Erasmus +.

THIERRY TALBERT

Il est titulaire d'un doctorat en génie électrique de l'Université Montpellier II, Sciences et Techniques. Il a travaillé chez Intelligent Electronics Systems au développement d'un chargeur sans ventilateur pour Fenwick. Au sein de la division Solaire APEX-BP de British Petroleum, il a collaboré au développement d'un convertisseur autonome pour les pays d'Afrique. Il a rejoint le Laboratoire de Physique Appliquée et d'Automatique (LP2A) en 2002 en tant que professeur associé. En 2011, le LP2A s'est associé au laboratoire PROMES-CNRS. En 2017, M. Talbert en a pris la tête de l'équipe Supervision, Énergie solaire, Systèmes électriques (SEnSE) nouvellement créée. Après avoir travaillé sur le comportement électromagnétique et la fiabilité des condensateurs en électronique de puissance, ses recherches portent actuellement sur le développement de convertisseurs CC/CC pour les cellules CPV de moins de 1000 soleils et la gestion de l'énergie des mini-réseaux (prédiction de la ressource, V2G, stockage distribué, modélisation de centrales, etc.).

JOSÉ FRANCISCO SANZ

Jose F. Sanz est titulaire d'un doctorat en génie industriel de l'Université de Saragosse. Il est maître de conférence dans le département d'Électricité de l'Université de Saragosse (1993). Il dirige le groupe de recherche sur «l'intégration des énergies renouvelables et les configurations en électronique de puissance» de la fondation CIRCE (2004-2016).

Il a participé à plus de 50 projets de recherche bénéficiant de financements publics nationaux et européens, et privés. Coauteur de plus de 30 publications et livres, il a déposé 3 brevets sur l'ICPT pour la charge des VE et 2 brevets sur la charge conductive des VE. Ses grandes lignes de travail sont l'intégration des énergies renouvelables, l'électronique de puissance pour l'énergie renouvelable et les systèmes de stockage et de raccordement aux réseaux (D-FACTS, PAF), les mini-réseaux, les réseaux intelligents, l'impact du véhicule électrique sur le réseau et la recharge des véhicules électriques par induction et conduction.

MANUEL DOBLARÉ

Manuel Doblaré est ingénieur en mécanique et en électricité de l'Université de Séville et possède un doctorat de l'Université polytechnique de Madrid. En 1984, il a été nommé professeur titulaire à l'Université de Saragosse où il enseigne toujours. Dr Doblaré est membre du comité de rédaction de plusieurs journaux internationaux et a été élu membre du World Council of Biomechanics et d'EAMBES ; il est également membre permanent de l'Académie royale espagnole d'ingénierie. Le professeur Doblaré a été doyen de la Faculté d'ingénierie de l'Université de Saragosse, directeur de l'Institut d'Aragon de Recherche en ingénierie (I3A) et directeur scientifique du Centre de recherche biomédicale en réseau sur la bioingénierie, les biomatériaux et la nanomédecine (CIBER-BBN). Il a publié plus de 220 articles dans des journaux scientifiques internationaux et a supervisé 37 thèses de doctorat. C'est l'un des chercheurs les plus renommés en Espagne dans le domaine de la biomécanique et de la mécanobiologie.

ALEIX PONS

Aleix Pons Vigués (Terrassa, Barcelone, 1979) est économiste. Il est titulaire d'une licence en économie de l'Université Pompeu Fabra (1997 - 2001) et d'un master en économie et finances du Centre pour les études monétaires et financières (CEMFI), sous la houlette de la Banque d'Espagne (2001-2003). Il a également terminé le Programme de leadership pour la gestion publique de l'IESE (2010).

Au plan professionnel, il a travaillé dans le secteur public et dans le secteur privé. Il a travaillé au sein du Bureau économique pour le président du gouvernement (2004-2011) à divers postes, y compris en tant que responsable du département de politique économique (2010-2011). Ultérieurement, il a rejoint l'Institut espagnol pour les entreprises familiales en tant que responsable du département de recherche (2012-2015). Depuis décembre 2015, il est à la tête du département économique et financier de la Fondation COTEC pour l'innovation.

JAVIER ANATOLE PALLÁS

Javier Anatole Pallás Gozálvez (Pontevedra, 1991) est économiste. Il est titulaire d'une licence en économie à l'Université Complutense de Madrid (2011-2015) et d'un master en économie et gestion de l'innovation de l'Université autonome de Madrid.
Il possède une vaste expérience dans la recherche, notamment pour International Financial Analysists (2014-2015), BBVA Research (2016-2017). Il travaille en tant qu'analyste économique pour la Fondation COTEC pour l'innovation depuis mars 2017.

MERCEDES TERUEL

Mercedes Teruel est professeure agrégée au sein du département d'économie de l'Universitat Rovira i Virgili. Ses axes de recherche portent sur la croissance des entreprises, l'organisation industrielle et l'innovation. Elle a publié des articles dans Small Business Economics, Journal of Economic Behaviour and Organization, Industrial and Corporate Change et Research Policy, entre autres. Elle est lauréate du prix Richard R. Nelson (2016).

GIE POUR LA RÉGION SUDO
A RÉGION SUDOE UN APERC
UN APERÇU DE L'INNOVATIO
NOVATION DANS LE SECTEU
NS LE SECTEUR DE L'ÉNERG
CTEUR DE L'ÉNERGIE POUR

UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER
Université de Toulouse

Funseam
Fundación para la Sostenibilidad Energética y Ambiental

Ciências ULisboa

POLITÉCNICA "Engineering the future"
INTERNATIONAL CAMPUS OF EXCELLENCE

PROMES

cnrs

circe
RESEARCH CENTRE FOR ENERGY RESOURCES AND CONSUMPTION

cise
Electromechatronic Systems Research Centre
UNIVERSIDADE BEIRA INTERIOR

c+t=an
Corporación Tecnológica de Andalucía