

Les leviers d'action pour un mix énergétique propre et sûr au service de la transition énergétique dans les territoires

Par Florence CARRÉ, Karine ADAM, Raymond COINTE et Olivier GENTILHOMME
INERIS

Mathieu BRUGIDOU et Olivier GUILLAUME
EDF

Pauline GABILLET
Métropole de Lyon

Corinne GENDRON
Université Québec à Montréal (UQAM)

Magali JAKUBOWICZ
Communauté d'agglomération du Beauvaisis

Jean-Yves LEBER
Écologie sans Frontière

Stéphane MOCANU
INRIA

Isabelle MORETTI
Université de Pau et des Pays de l'Adour

Éric VIDALENC
ADEME

et Jacques VILLENEUVE
Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)

Les territoires multiplient leurs efforts pour atteindre les objectifs de la loi de transition énergétique pour la croissance verte, parmi lesquels figure la nécessité de porter la part des énergies renouvelables à 32 % de la consommation finale brute d'énergie en 2030. Cet article vise à recenser les risques industriels et environnementaux liés à l'émergence à la fois de nouveaux acteurs impliqués dans le déploiement des énergies renouvelables et de nouveaux matériaux et technologies. Associées à ces risques, des solutions techniques et organisationnelles sont proposées pour les maîtriser et tenter de faire de la transition une opportunité pour les territoires.

Territoires et objectifs de transition énergétique

Les territoires multiplient leurs efforts pour atteindre les objectifs de la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, parmi lesquels figurent, outre des objectifs de réduction des gaz à effet de serre et de consommation énergétique, des objectifs de développement des énergies renouvelables, comme 1) augmenter la part des énergies renouvelables à 23 %

de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % de cette consommation en 2030, 2) porter à 40 % la production d'électricité d'origine renouvelable en 2030, 3) faire en sorte que la consommation finale de chaleur d'origine renouvelable représente 38 % en 2030 et 4) que la consommation finale de carburant d'origine renouvelable se situe à 15 % en 2030, 5) que la consommation de gaz d'origine renouvelable atteigne les 10 % en 2030, et 6) multiplier par 5 la quantité de chaleur et de froid renouvelables et de récupération livrée par les réseaux associés

à l'horizon 2030. L'objectif de cet article est d'identifier des leviers d'action permettant de garantir la sécurité du développement des énergies renouvelables à court et moyen termes par l'ensemble des parties prenantes à partir d'exemples d'opérateurs de la transition énergétique discutés lors du séminaire « Vers un déploiement propre et sûr de la transition énergétique dans les territoires ⁽¹⁾ ».

Une transition énergétique résolument en marche, mais exigeant de coordonner de nombreux acteurs

Le panorama des énergies renouvelables 2018 indique que la puissance du parc de production d'énergies renouvelables atteinte au 31 décembre 2018 était de 51,17 GW, dont 25,5 GW provenaient de la filière hydraulique, 15,1 GW de l'éolien, 8,5 GW du solaire et 2 GW des bioénergies (RTE, SER, Enedis, ADEef et ORE, 2019). L'électricité renouvelable couvrait 22,7 % de l'électricité consommée en 2018, mais avec de fortes disparités entre les régions, le minimum étant de 1,5 % en Île-de-France et le maximum de 47,8 % en Occitanie (RTE, SER, Enedis, ADEef et ORE, 2019). Les faibles taux observés sont d'abord liés à des choix historiques, comme celui de développer l'hydraulique dans les massifs montagneux. Aujourd'hui, l'éolien et le solaire sont les deux filières les plus dynamiques. Les différences de développement sont dues à un manque de ressources, de coordination ou de volonté des acteurs territoriaux. En outre, des dispositifs de soutien nationaux (notamment les appels d'offres CRE) favorisent aussi les gisements les plus rentables et

une certaine polarisation dans les développements récents (éolien au Nord et solaire au Sud). Si les énergies renouvelables se développent fortement, la consommation d'énergie de la plupart des régions, en particulier celle des Hauts-de-France, ne baisse pas, ce qui laisse présager un décalage entre offre et demande d'énergie en 2050 et ne permet pas de réduire la production et les risques associés (ADEME *et al.*, 2018). La transition énergétique implique alors d'engager tous les acteurs du territoire pour faire converger sobriété et efficacité dans les consommations et productions d'énergies renouvelables. Le Tableau 1 ci-contre présente une typologie précisant le rôle de chacun des acteurs, le cadre réglementaire dans lequel s'inscrit leurs actions et leurs fonctions dans le déploiement de la transition énergétique.

Les acteurs impliqués dans la transition énergétique sont nombreux et présents à toutes les échelles de gestion des territoires. Les véritables chefs d'orchestre sont les régions qui, chacune, élaborent leur Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité de leur territoire (SRADDET). Les établissements publics de coopération intercommunale de plus de 20 000 habitants assurent, quant à eux, le déploiement collectif de la transition énergétique en s'appuyant sur le Plan Climat Air Énergie territorial (PCAET) qu'ils élaborent tous les six ans, en cohérence avec le SRADDET. Les actions proposées dans ces plans se concrétisent ensuite par le lancement d'appels d'offres de production et de distribution d'énergie renouvelable ou de nouvelles formes de consommation. L'actualisation des PCAET doit cependant tenir compte des contraintes des agendas politiques de la communauté elle-même, mais également de la Région, ce qui peut entraîner une certaine inertie dans son déploiement. Par ailleurs, les priorités de planification de la transition portent essentiellement sur l'atteinte des objectifs de production d'énergie renouvelable de la LTECV, alors que la sécurité du déploiement n'intervient qu'*a posteriori*, au moment de la validation des projets par la préfecture. Si les projets ne sont pas validés, il faut alors lancer d'autres appels d'offres jusqu'à atteindre des projets plus sûrs. Ces constats appellent donc à une meilleure coordination de la planification énergétique entre les différents acteurs et à l'intégration de la sécurité dès la planification des projets (processus appelé *safe by design*).

La nécessité de développer une culture du risque auprès des nouveaux acteurs de la transition énergétique

Les solutions techniques de production, de stockage et de distribution des énergies renouvelables peuvent induire des sources potentielles d'accidents ou d'impacts environnementaux et sanitaires, tels que des explosions et/ou des rejets de matières toxiques et inflammables. Ainsi, en 2018, seize incendies impliquant des batteries stationnaires lithium-ion utilisées pour stocker l'énergie ont été dénombrés en Corée, impliquant la mise à l'arrêt de leur usage par certains utilisateurs. Pour le stockage souterrain de l'hydrogène dans des cavités salines, les

Acteurs	Cadres réglementaires	Rôles
État	Loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), Stratégie nationale Bas Carbone (SNRE), Plan national Santé-Environnement (PNSE), Loi portant nouvelle organisation territoriale de la République (NOTRe)	Régule par décrets et par le biais de normes la mise sur le marché de solutions techniques qui accélèrent ou ralentissent le déploiement de la transition énergétique. Lance des appels à projets de recherche et d'innovation. Coordonne les stratégies régionales.
Régions	Stratégies régionales de développement durable, de l'énergie et des territoires (SRADDET), de spécialisation de la recherche et innovation (SSRI)	Cadrent la mise en œuvre de la transition énergétique au niveau régional. Lancent des appels à projets. Développent des partenariats avec des collectivités, financeurs et innovateurs.
Municipalités, métropoles, communautés d'agglomération (> 20 000 habitants)	Plan Climat Air Énergie territorial (PCAET), Plan local urbanisme intercommunal (PLUI)	Opèrent la transition énergétique en connectant les différents acteurs. Achètent l'énergie. Coordonnent et/ou investissent dans des démonstrateurs.
Entreprises, services de consulting, agences d'État, banques, centres de recherche/universités, centres de formation	Textes nationaux et communautaires relatifs au droit de l'environnement	Apportent des solutions techniques, financières et organisationnelles.
Citoyens	Textes nationaux et communautaires relatifs au droit de l'environnement	Sont des accélérateurs de la transition en réduisant leur consommation et en produisant des énergies renouvelables (consomm'acteurs), mais peuvent également être un frein (réticence au déploiement et forte consommation d'énergie).

Tableau 1 : Les différents acteurs et leurs rôles dans la transition énergétique, et les cadres réglementaires de leur action.

(1) <https://www.ineris.fr/journee-technique-vers-deploiement-propre-transition-energetiques-territoires>

risques identifiés sont des fuites d'hydrogène par perte d'étanchéité de la cavité, du réservoir ou des conduites de stockage ou un risque d'éruption, notamment lors de la maintenance, ainsi que des incendies et/ou explosions en milieux confinés ou non confinés (INERIS Référence, 2016). Dans le cadre d'une mobilité à l'hydrogène, les enjeux de la sécurité sont la gestion de la haute pression (> 400 bars), la gestion du risque de création d'une atmosphère explosive et du risque électrique et la gestion des risques logistiques, comme les pièces tournantes, les températures variables et les conditions de chantiers.

Outre les risques liés aux atmosphères explosives et aux rejets de matière, la gestion des interconnexions entre systèmes de production et systèmes d'utilisation de l'énergie, comme les *smart grids*, doit tenir compte de leur vulnérabilité aux cyberattaques (ANSSI, 2012). En 2010, les installations nucléaires iraniennes du site de Natanz ont été endommagées par l'attaque d'un ver informatique, Stuxnet. De même, plus de 2 000 sites industriels critiques ont fait l'objet d'actions d'espionnage en Europe et aux États-Unis en 2014. En 2019, la compagnie Norsk Hydro a subi plus de 40 M€ de pertes liées à une cyberattaque.

Il existe des réglementations et des standards nationaux et internationaux encadrant ces différents risques. Cependant, étant donné la diversification des acteurs impliqués dans le déploiement de la transition énergétique, le cadre réglementaire n'est pas toujours respecté par les nouveaux acteurs des énergies renouvelables. Les PME ou les consomm'acteurs n'ont pas forcément conscience des risques potentiels, ni connaissance des réglementations les encadrant contrairement aux industriels accoutumés à la culture du risque. Il convient donc de sensibiliser le mieux possible ces nouveaux acteurs aux risques potentiels de ces nouvelles technologies et aux mesures de sécurité correspondantes. Par ailleurs, les technologies de production et de stockage de l'énergie évoluent rapidement grâce aux recherches de pointe sur les nouveaux matériaux et à l'intensification des procédés. Il est alors difficile d'en évaluer les risques sous-jacents et de mettre à jour les standards. Pour ce faire, il convient là encore d'intégrer les risques le plus en amont possible, dès la conception des nouveaux matériaux et technologies. Des solutions comme les modèles prédictifs ou les relations quantitatives structure-propriété permettent ainsi d'appréhender les propriétés de certains composés chimiques à partir de leurs seules structures moléculaires et, par là même, de prédire les risques sous-jacents au recours à de nouveaux matériaux et procédés (Prana *et al.*, 2014).

Une économie circulaire à mieux penser

La transition énergétique conduit à (ré)utiliser des ressources locales pour produire de l'énergie. C'est le cas notamment de la méthanisation qui utilise des matières premières organiques d'origine agricole pour produire non seulement du biogaz – source d'énergie renouvelable –, mais également des digestats utilisés pour enrichir les sols en matière organique. Ainsi, le produit de sortie d'un procédé est utilisé par un autre processus comme matière pre-

mière. Ce modèle d'économie circulaire appliqué à un territoire (écologie industrielle) a pour vertu de limiter les flux de ressources et les émissions liées au transport de matières. À l'inverse, la circularité implique que des polluants peuvent facilement se transférer d'un processus à un autre et engendrer leur accumulation ou leur dégradation en des substances potentiellement plus nocives. Il convient donc de bien identifier les sources de danger le plus en amont possible afin d'éviter les transferts de polluants et la propagation des risques, laquelle peut être d'autant plus importante que les procédés sont fonctionnellement et géographiquement interconnectés au travers de multiples réseaux physiques, numériques et organisationnels, ce qui est le cas du déploiement du mix énergétique.

De même, la fabrication des technologies de la TE nécessite l'extraction des matières premières (minéraux et métaux), ce qui tend à intensifier une demande déjà croissante de celles-ci. Les gisements sont de plus en plus difficilement exploitables, et sont donc de plus en plus gourmands en énergie. Or, ce besoin accru en énergie pour la production des technologies de l'énergie diminue la « rentabilité énergétique » de ces dernières au niveau global. Il convient donc, pour planifier au mieux la transition énergétique d'un territoire, d'intégrer dans le processus décisionnel la rentabilité énergétique (comme l'indice énergie produite/énergie investie – ou EROI) liée à l'extraction des matières premières hors du territoire (ANCRE, 2015). Par ailleurs, la décision doit également prendre en compte dans les calculs d'analyse de cycle de vie (ACV) et d'évaluation des risques, non seulement les consommations d'énergie, de matières et d'eau, mais également la perte de biodiversité et les impacts sur la santé humaine.

Le recyclage des matériaux est également une priorité pour éviter de nouvelles extractions. Dès lors, l'évaluation des risques doit aussi porter sur le niveau acceptable de pureté des matériaux permettant d'éviter des risques environnementaux, sanitaires, accidentels et sociétaux au niveau du territoire (KEMI, 2012).

Mieux comprendre la perception des risques à travers la concertation

La transition énergétique implique des aménagements territoriaux qui peuvent soulever des conflits entre les aménageurs et la population locale du fait des spécificités territoriales (environnement, histoire des habitants, attachement au territoire...). Ces conflits liés aux projets de transition énergétique peuvent provenir de problématiques d'ordre économique et social, mais également environnemental : des conflits qui appellent à des tentatives d'évaluation objective des risques soit par les citoyens eux-mêmes, soit par les chercheurs ou experts sollicités. Cette objectivation, néanmoins vécue comme un frein par les gestionnaires du territoire, apparaît pourtant comme une opportunité pour sécuriser le déploiement des énergies renouvelables et amener à les percevoir comme autant d'atouts et d'opportunités.

Les conflits peuvent cependant être évités ou du moins rendus productifs (Boy et Brugidou, 2009) grâce à

l'appropriation des projets de déploiement par les riverains, à la compréhension sociologique réciproque entre exploitants, pouvoirs publics et riverains, et à la confrontation de leurs responsabilités respectives en cas d'accidents (Guillaume, 2013). Cela devient possible lorsque la concertation entre citoyens, gestionnaires du territoire, fournisseurs de technologies et conseillers sur la sécurité industrielle et environnementale a lieu dès la planification des projets de déploiement, voire en amont lors de la définition de la stratégie territoriale de transition énergétique par les collectivités. La concertation peut ainsi conduire à des modifications substantielles des projets, parfois même à leur abandon (CESE, 2014). Dans le cadre de l'élaboration des schémas directeurs des énergies et des plans Climat Air Énergie Territoire ou de lancement d'appels d'offres de démonstrateurs, des collectivités, comme la Métropole de Lyon (2019) ou la Communauté d'Agglomération de Beauvais (2019), ont recours à la concertation et à la co-construction des projets de déploiement avec l'ensemble des parties prenantes. Il conviendrait d'intégrer dans de tels cadres de concertation les conseillers en sécurité environnementale et industrielle. Cela permettrait non seulement de sensibiliser les parties prenantes aux risques, mais également de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à la perception des risques, ainsi que les effets d'instruments politiques et financiers dans le temps et dans l'espace sur le plan de la co-construction.

Perspectives : promouvoir une gestion intégrée et inclusive des risques

Comme évoqué précédemment, de par les acteurs, l'histoire et la géomorphologie paysagère qui le compose, chaque territoire est spécifique. Il n'existe donc pas de modèle unique d'une bonne transition énergétique, si ce n'est de raisonner la planification à partir de l'intégration par l'ensemble des parties prenantes, le plus en amont possible, des risques multiples et de leurs interdépendances. La première manière de réduire le risque consiste à travailler sur la sobriété et l'efficacité énergétique pour réduire la consommation et, par conséquent, le besoin en termes de production. Faciliter l'intégration des énergies renouvelables passe nécessairement par le développement d'outils de gestion de la sécurité adaptés aux contraintes de l'ensemble de ces acteurs en matière de gestion de l'énergie et aux outils de management de la performance que ces acteurs utilisent au quotidien.

Bibliographie

ANCRE (2015), *Ressources minérales et énergie*, rapport du groupe « Sol et sous-sol » de l'Alliance Ancre, 75 p., http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/ancre_rapport_2015-ressources_minerales_et_energie_0.pdf

ANSSI (2012), *Maîtriser la SSI pour les systèmes industriels*, 40 p., https://www.ssi.gouv.fr/uploads/IMG/pdf/Guide_securite_industrielle_Version_finale.pdf

BOY D. & BRUGIDOU M. (dir.) (2009), *Le débat public, un risque démocratique ? L'exemple de la mobilisation autour d'une ligne à très haute tension*, Lavoisier, Collection « Sciences du risque et du danger ».

FARGEVIEILLE B. & HÉZARD L. (rapporteurs) (2014), « Concertation entre parties prenantes et développement économique », avis du CESE, https://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Avis/2014/2014_09_concertation_developpement_economique.pdf

Communauté d'agglomération du Beauvaisis (2019), *Plan climat air énergie territorial de l'agglomération du Beauvaisis*, <http://www.beauvaisis.fr/developpement-durable/pcaet-ou-en-est-on.html>

GUILLAUME O. (2013), « Pêcheurs à la mouche : de l'activité sportive à la maîtrise des risques en rivière », STAPS, *The International Journal of sport science and physical education* 99, p. 11, <https://www.cairn.info/revue-staps-2013-1-page-11.htm?contenu=article>

INERIS Référence (2016), *Le stockage souterrain dans le contexte de la transition énergétique*, 42 p., <https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/ineris-dossierref2015-185x240-10-16bd-1478511473.pdf>

KEMI (2012), *Material Recycling without Hazardous Substances. Experiences and future outlook of ten manufacturers of consumer products. An interview study*, rapport KEMI, 88 p., <https://www.kemi.se/global/pm/2012/pm-14-12-recycled-materials.pdf>

Loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (JORF 18 août 2015), <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000031044385&categorieLien=id>

Métropole de Lyon (2019), *Schéma directeur des énergies*, 336 p., https://blogs.grandlyon.com/plan-climat/wp-content/blogs.dir/8/files/dlm_uploads/2019/05/2019_Sch%C3%A9ma-directeur-des-%C3%A9nergies.pdf

MURPHY D., HALL C., DALE M. & CLEVELAND C. (2011), "Order from Chaos: a preliminary protocol for determining the EROI of fuels", *Sustainability* 3(10), pp. 1888-1907, <https://doi.org/10.3390/su3101888>

PRANA V., ROTUREAU P., FAYET G., ANDRÉ D., HUB S., VICOT P., RAO L. & ADAMO C. (2014), "Prediction of the thermal decomposition of organic peroxides by validated QSPR models", *Journal of Hazardous Materials* 276, pp. 216-224.

RTE, SER, Enedis, ADEef & Agence ORE (2019), *Panorama de l'électricité renouvelable en 2018*, 51 p., https://www.enedis.fr/sites/default/files/field/documents/Panorama_electricite_renouvelable_2018-T4.pdf

VIDALENC E. (ADEME), MAIRET N. & SUDRIES L. (ENERDATA) & BRIAND V. (ÉNERGIES DEMAIN) (2018), *Scénarios d'actualisation du Master Plan pour la Troisième Révolution industrielle en Hauts-de-France*, 118 p., <https://www.ademe.fr/enjeux-energetiques-emplois-hauts-france>