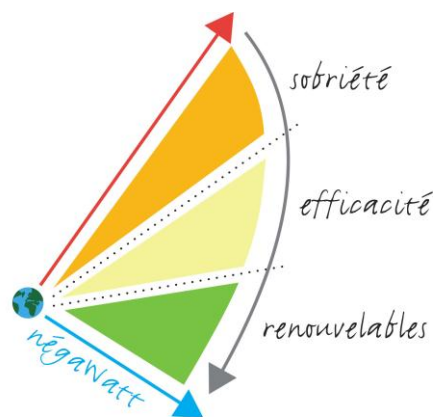




VERS UN SYSTEME ENERGETIQUE « 100% RENOUEVABLE »

Scénario et plans d'actions pour réussir la transition
énergétique en région Provence-Alpes-Côte d'Azur



Partie 1 – Revue de scénarios énergétiques ambitieux -
version finale

Principaux membres de l'équipe :

Vincent LEGRAND, Institut négaWatt (mandataire)

Olivier SIDLER, Enertech

Thomas LETZ, Enertech

Christian COUTURIER, Solagro

Anne RIALHE, AERE

Pascal STEPHANO, AERE

Antoine BONDUELLE, E&E

Simon METIVIER, E&E

Yves MARIGNAC, WISE-Paris

Table des matières

Table des matières	3
Introduction.....	4
I- Les scénarios énergétiques français « ambitieux »	5
II- Typologie de scénarios – critères de sélection.....	10
1- Principaux critères de construction des scénarios	10
2- Typologie de scénarios retenus	10
III- Les scénarios énergétiques ambitieux	12
1- Scénarios énergétiques mondiaux et européens ambitieux.....	12
M1- Energy [r]evolution – Greenpeace.....	12
M2- The Energy Report - WWF	13
M3- Autres scénarios européens	14
2- Les scénarios énergétiques nationaux ambitieux	15
N1- Allemagne	15
N2- Danemark	16
N3- Autriche	17
3- Autres scénarios énergétiques ambitieux (infranationaux)	18
R1- Vorarlberg (Autriche)	18
R2- Sarre (Allemagne).....	19
Conclusion	20
Références.....	22

Introduction

L'objectif de ce document est d'identifier les scénarios énergétiques existants susceptibles d'éclairer la réalisation d'un scénario régional « 100% renouvelable ».

Jusqu'à 2006, il n'existait presque aucun scénario énergétique explorant les chemins vers des paysages « 100% renouvelables ». Depuis cette date, ces scénarios se sont multipliés, sur différentes échelles de territoires, à tel point qu'il est impossible aujourd'hui de tous les recenser.

Le choix des scénarios a été fait en se posant la question : que doit-on attendre des scénarios énergétiques ?

L'objectif des scénarios énergétiques n'est pas de prédire l'avenir – allons même jusqu'à dire que la seule certitude que nous puissions édifier à l'égard d'un scénario énergétique, c'est qu'il ne se réalisera pas.

L'intérêt d'un scénario énergétique est, en fonction d'hypothèses à expliciter :

- d'explorer jusqu'où il est possible ou souhaitable d'aller en termes de consommation ou de production d'énergie et d'impacts associés (sur les émissions de gaz à effet de serre, l'économie, les emplois, ...)
- d'identifier les points clés pour atteindre des objectifs de consommation ou de production d'énergie (rythmes à suivre, niveaux de performances à mettre en œuvre, potentiels à exploiter, secteurs ou thématiques à prioriser, ...)

Ces exercices de prospective suppose donc de prendre du recul par rapport aux enjeux contemporains et à leur perception, pour discerner, derrière les préoccupations et les préjugés actuels, les vrais enjeux du long terme.

L'intérêt d'un scénario énergétique est donc dans la trajectoire qu'il décrit, bien plus que dans la photo finale qu'il propose. Une vision énergétique à 2050 est finalement assez simple à réaliser – une trajectoire crédible et détaillée entre aujourd'hui et 2050 est nettement plus délicate à construire.

Par la trajectoire qu'il décrit, un scénario énergétique a finalement pour principal intérêt de poser un cadre pour l'action : il quantifie les objectifs et le niveau d'action à mener dans les différents secteurs clés. Un scénario est donc un objet creux s'il n'est pas accompagné des préconisations pour sa mise en œuvre – que l'on pourra nommer « plans d'actions », « orientations », « programmes », « politiques » ou « mesures ». C'est ce couple « scénario + préconisations de mise en œuvre » qui caractérise une « stratégie énergétique », et qui doit permettre de comprendre les enjeux énergétiques de demain et la bonne manière d'agir aujourd'hui pour s'y préparer.

Dans la diversité des scénarios, ces réflexions nous ont conduits à écarter ceux qui ne correspondaient pas à ces approches.

Le présent document commence par proposer un rapide historique des scénarios ambitieux, en France, pour replacer le contexte de ce travail de scénarisation régionale ambitieuse.

Il décrit ensuite les critères qu'il est important de retenir pour analyser les scénarios énergétiques.

Il détaille ensuite différents scénarios, sur la base de ces critères.¹

¹ Pour une analyse complémentaire de scénarios énergétiques, voir également le projet européen ENCI LowCarb, porté en France par le Réseau-Action-Climat France ; <http://www.lowcarbon-societies.eu/>

I- Les scénarios énergétiques français « ambitieux »

Le plan Alter, publié en 1978², est probablement le premier scénario de transition énergétique ambitieux en France – la terminologie de l'époque est au « tout solaire », et l'on ne parle ni de transition énergétique, ni de « 100% renouvelable », ni de gaz à effet de serre. Issue de la société civile, ce scénario a pour objectif de remplacer à terme l'énergie nucléaire par des énergies alternatives (en particulier le solaire). Ces travaux au niveau national ont été déclinés au niveau régional (plan Alter breton, plan Alter Alsace).

Il faut ensuite attendre le **scénario négaWatt 2003** [négaWatt, 2003]³ pour retrouver, en France, un scénario énergétique ambitieux. Il aboutissait à une division par un peu plus de 3 des gaz à effet de serre en 2050 par rapport à 2000, une sortie du nucléaire vers 2040, une réduction des consommations d'énergie primaire de 54% en appliquant le triptyque « sobriété, efficacité énergétique et énergies renouvelables », et une couverture de la consommation par les énergies renouvelables de 64%, avec comme principale source d'énergie renouvelable, loin devant toutes les autres, la biomasse.

A l'époque, le Premier Ministre Jean-Pierre Raffarin venait d'annoncer que l'objectif de la France était « une division par quatre ou par cinq » des gaz à effet de serre d'ici 2050⁴. Le fait que le seul scénario ambitieux qui permettait d'atteindre cet objectif ne soit pas un scénario officiel et qu'il inclue en outre une sortie du nucléaire n'était pas acceptable au pays de l'atome. Le « **scénario Prévot** » [Prévot, 2004] est sorti début 2004, quelques mois seulement après le premier scénario négaWatt, sous l'égide du Conseil Général des Mines. Ce scénario aboutit à un facteur 2,8 en CO₂ en 30 ans par rapport à 2000. Mais il est intéressant à bien des égards car il aboutit finalement à entériner les principaux résultats du scénario négaWatt 2003 :

- Il valide la nécessité absolue de maîtriser les consommations d'énergie - dans un pays où la hausse des consommations d'énergie était une donnée intangible de tout scénario énergétique, le scénario part sur une baisse de 6% des consommations d'énergie finale en 30 ans
- Il travaille sur les différents usages de l'énergie (transport et chaleur, en plus de l'électricité spécifique), entérinant le fait que le seul travail sur l'électricité n'est plus suffisant
- Comme le scénario négaWatt, il recourt fortement à la biomasse, première source d'énergie renouvelable ; la seule différence est qu'il mobilise des surfaces agricoles pour la culture industrielle de biocarburant et de bois, là où le scénario négaWatt s'appuie sur des rémanents et des résidus agricoles et sylvicoles

Le scénario Prévot part en revanche sur un renouvellement du parc nucléaire (ou avec un parc équivalent de production fossile avec capture et séquestration du carbone – « CCS »), tout en reconnaissant que les premières sources de réduction de CO₂, loin devant la production fissile ou fossile « CCS », sont la maîtrise des consommations, puis la biomasse.

Le travail réalisé également en 2004 par la **Mission Interministérielle pour l'Effet de Serre, La division par 4 des émissions de CO₂ en France d'ici 2050** [MIES, 2004] vient explorer d'autres perspectives et confirmer plusieurs éléments d'importance. Sur les 8 variantes de scénarios analysées, 5 aboutissent à une forte réduction des

² *Projet ALTER - Esquisse d'un régime à long terme tout solaire*, Groupe de Bellevue, 1978.

³ Les informations entre crochets renvoient sur les références des scénarios, en fin de ce rapport.

⁴ Discours du 19 février 2003, lors de l'ouverture de la 20^e session plénière du GIEC, à Paris. Cet objectif a été ensuite repris dans l'article 2 de la loi de Programme fixant les Orientations de la Politique Énergétique (« loi POPE ») du 13 juillet 2005.

émissions de CO₂ : les scénarios « Nucléaire et tout électrique », « Nucléaire, cogénération et renouvelables », « Fossiles et séquestration carbone », « Sortie du nucléaire et séquestration » et « Nucléaire et hydrogène ».

Ces scénarios mettent tous en avant les indispensables efforts de maîtrise des consommations d'énergie : les 5 passent de 157 Mtep en 2000 à environ 140 à 147 Mtep en 2050 (donc une assez faible baisse des consommations d'énergie, alors qu'on observe une hausse importante dans les autres variantes).

Malheureusement, aucun de ces scénarios n'aboutit à un facteur 4, mais seulement 3,2 en 2050 par rapport à 2000, contrairement à ce que suggère le titre (c'est une pratique qui sera régulièrement reprise ensuite dans les travaux officiels). Plusieurs choix de ces scénarios sont surprenants, ou du moins pas évidents *a priori* : le vecteur électricité tient une place importante dans les 5 scénarios (hausse comprise entre 1,7 et 2,4, entre 2000 et 2050). Deux scénarios renouvellent le parc nucléaire, et deux l'augmentent de 70%.

Pour la première fois dans un exercice officiel est analysé un scénario de sortie du nucléaire, ce qui est remarquable. Ce scénario est le plus efficace (75% de rendement, en partant de 34% en 2000, contre 48 à 59% pour les 4 autres). Mais très curieusement, ce scénario est affublé d'une énorme consommation de charbon, et de très peu de renouvelables (35%, contre 65% de fossiles), et associé à de la séquestration du carbone, donc en rupture technologique, qui en affaiblit considérablement l'intérêt. Ce choix est justifié par une absence de confiance dans la réduction plus ambitieuse des consommations d'énergie, et dans la capacité des renouvelables à couvrir une part prépondérante de la consommation d'énergie.

Notons également que le recours à la biomasse est notoirement sous-estimé, et qu'elle est réservée aux biocarburants, ce qui est un choix *a priori* très contestable.

En 2005 est également paru *l'Etude pour une prospective énergétique concernant la France* [DGEMP, 2005]. Cet exercice macro-économique à l'horizon 2030, élargi à 2050, apporte des résultats difficilement quantifiables, avec un facteur 4 plus proche d'un facteur 3. La consommation d'énergie finale en 2050 revient à celle de 2020, mais avec une augmentation par rapport à 2001 : de 167 Mtep en 2001 à 186 Mtep en 2050.

L'approche s'apparente à celle d'un scénario « tout électrique », avec une augmentation du parc nucléaire. Les énergies renouvelables ne couvrent que 15% environ de la consommation, et sont constituée pour plus de 90% de biomasse. L'éolien n'apparaît pas, ce qui correspond à l'état d'esprit de l'Etat en 2005 (rejet de cette technologie). Plusieurs ruptures technologique sont prises en compte (Hydrogène, piles à combustible)

En décembre 2005, l'association négaWatt présente son scénario actualisé, appelé « **scénario négaWatt 2006** » [négaWatt, 2005]. Ce scénario est une actualisation du scénario 2003. Il aboutit à une réduction des consommations d'énergie primaire de 64%, un taux de couverture par les énergies renouvelables de 71% et une réduction des émissions de CO₂ en 2050 de 4,2 par rapport à 2000.

En 2007 est apparu un nouvel exercice issu d'une association d'acteurs et de retraités du secteur nucléaire, Sauvons le climat. En réaction au scénario négaWatt⁵, ils ont proposé un « **scénario négatep** » [négatep, 2007]. Le « néga » est présent, indiquant que là encore l'effort de maîtrise des consommations d'énergie est prioritaire (la consommation d'énergie finale par habitant baisse d'1/3 dans le scénario négaWatt 2006, et de 25% dans le scénario négatep). Le recourt à la biomasse est importante, mais moins que dans le scénario négaWatt ; en revanche, une forte part de la biomasse mobilisée est constitué de biocarburants – avec, de

⁵ Au-delà du nom, le positionnement du scénario négatep en fonction du scénario négaWatt s'est par exemple traduit par des exercices de comparaison de la part des auteurs de négatep : voir « Présentation de la comparaison négaWatt – négatep », Claude Acket - Pierre Bacher, 2007.

l'aveu même des auteurs, une nécessité de faire appel aux biocarburants de 2^e génération, en rupture technologique avec les techniques actuelles.

L'écart entre négaWatt et négatep est du coup compensé par un recourt massif à l'électricité, dans les transports (véhicules électrique) et la chaleur (chauffage électrique) ; il s'apparente donc à un scénario « tout électrique ». La consommation d'électricité, qui décroît légèrement dans le scénario négaWatt, augmente dans le scénario négatep plus encore que le tendanciel. La production d'électricité s'appuie en bonne partie sur le nucléaire, avec un parc nucléaire non seulement renouvelé, mais augmenté de moitié. Dans le scénario négatep, la couverture de la consommation par des énergies renouvelables est de 37%. Notons enfin que le scénario négatep, intitulé « Diviser par 4 nos rejets », aboutit en fait à un facteur 3 en émissions de CO₂.

En 2007 est également sorti en France un scénario assez éloigné de l'esprit du scénario négatep : le **scénario du Réseau Sortir du nucléaire** sur la sortie du nucléaire en 5 ou 10 ans [Réseau Sortir du nucléaire, 2007]. Ce scénario s'appuie également sur une forte maîtrise de la consommation d'électricité, et sur un fort recourt à l'électricité renouvelable, mais avec la nécessité de rester réaliste sur les capacités d'actions sur des échéances aussi courtes ; le recourt massif aux énergies fossiles est donc inéluctable et conduit à une hausse de 20% des émissions de gaz à effet de serre.

Ce scénario, porté par un groupe de personnes qui s'auto-désignent sous le terme d'« immédiatistes », a au moins l'intérêt de montrer ce qui se passerait très probablement en cas d'accident nucléaire en France (voire en Europe), ou de défaut générique sur un nombre élevé de réacteurs en France⁶. Un Etat qui conduirait rationnellement sa politique électrique devrait assez logiquement s'interroger sur les conséquences de ce type de ruptures – mais jusqu'à présent l'Etat français n'a jamais souhaité réaliser ce type de scénario de sortie « en urgence ».

Fin 2007 est également sorti le « **rapport Syrota** » [Rapport Syrota, 2007], suite à la demande en 2006 du Premier ministre Dominique de Villepin au Centre d'analyse stratégique de « dégager les principales orientations opérationnelles et préconisations de politique publique en matière de maîtrise de la demande énergétique, de transports et d'aménagement, d'offre d'énergies et de régulation du marché énergétique ». Après un an et demi de travaux, cette commission a conclu qu'il était difficile de dépasser le facteur 2,5 en 2050, et que le facteur 4 demanderait de gros efforts...

En 2008 est sorti un exercice d'un genre nouveau, par le périmètre qu'il couvrait : le scénario de **Virage Energie Nord-Pas de Calais**. Ce travail a été mené dans la droite ligne du scénario négaWatt 2006, mais appliqué à la région Nord-Pas de Calais. La méthode et les grandes lignes sont donc les mêmes : facteur proche de 4 en émissions de CO₂, réduction des consommations d'énergie par sobriété et efficacité, politique volontariste sur les énergies renouvelables, fin du nucléaire, ... Ce scénario a conduit plusieurs groupes à se constituer, à travers la France, pour étendre le travail aux autres régions : le réseau des Virages Energie-Climat se développe (Pays de la Loire, Centre, Ile-de-France, Aquitaine, ...).

En 2010 est sorti une actualisation du **scénario négatep**, sans changement important par rapport au scénario de 2007 [négatep, 2010].

Enfin, en septembre 2011 est sorti le dernier **scénario 2011 « 100% négaWatt »** [négaWatt, 2011] de l'association négaWatt. Ce scénario, beaucoup plus ambitieux que les deux premiers, est en fait la première tentative pour décrire un scénario « 100% renouvelable » en France en 2050. Il aboutit à des gains par personne en énergie finale de 60%, et une couverture de la consommation par les énergies renouvelables de plus de 90%, soit un facteur 16 environ en termes d'émissions de CO₂. Ce scénario montre également qu'un

⁶ Obligation de mettre à l'arrêt, provisoire ou définitif, les réacteurs présentant ce défaut de fabrication – sur le sujet, voir le rapport sur les « Facteurs de rupture ».

équilibre entre l'offre et la demande d'électricité est envisageable sans rupture technologique, avec une très forte part d'énergie renouvelable – celles-ci étant variables et prévisibles, et non plus intermittentes et aléatoires comme il a été trop souvent affirmé.

En parallèle et en phase avec le scénario négaWatt 2011 est paru le **scénario AFTERRRES2050** (Agriculture, Forêt et usages des Terres) [AFTERRRES2050, 2011], visant à explorer l'avenir de l'agriculture et de la sylviculture dans leurs différentes fonctions (production d'aliments, de matériaux, d'énergie, ...). Ce travail, couplé au scénario négaWatt 2011 (les entrées de l'un sont les sorties de l'autre, et inversement) a permis d'explorer les points clés pour le secteur. Il a notamment montré :

- Que le facteur 4 n'est pas accessible dans l'agriculture, sauf à partir sur des ruptures peu pérennes, le facteur 2 étant accessible avec des efforts notables (division par 2 des consommations de viande par exemple) – d'où l'importance pour l'énergie de réduire ses émissions au-delà du facteur 4
- Que la France peut produire suffisamment de biomasse-énergie pour alimenter un scénario négaWatt, à condition de limiter le recourt aux cultures énergétiques et de maîtriser certaines consommations (viande et lait notamment).

Compte tenu de la place de la biomasse dans tout scénario énergétique ambitieux, ce travail a une place majeure pour la construction d'un scénario énergétique soutenable.

A la suite du Grenelle de l'environnement a été décidé le lancement des Schémas Régionaux Climat-Air-Energie, conjointement entre les Régions et l'Etat. Cet exercice a été diversement réalisé sur les différents territoires, la construction allant de l'échange constructif à la confrontation brutale entre ces deux acteurs.

Le constat que l'on peut faire, en l'état actuel d'avancement de ces Schémas, est que l'exercice pêche généralement par manque d'ambition, avec des terrains sensibles non pris en compte dans le périmètre d'analyse (nucléaire, éolien en mer, ...). L'horizon, fixé à 2030, est également un handicap pour ces exercices : les scénarios énergétiques se fondent sur des évolutions d'infrastructures et de paradigmes qui nécessitent plusieurs décennies – 30 à 40 ans constituent un horizon minimal.

Ces constats renforcent l'intérêt d'un scénario négaWatt régionalisé, tel que nous l'avons mené en Provence-Alpes-Côte d'Azur et décrit dans les rapports suivants. Cet exercice est le premier à intégrer deux niveaux de réflexion :

- le niveau national, qui intègre les évolutions des données agrégées en consommation et en production (contraintes européennes par exemple), des niveaux d'ambition importants (« 100% renouvelable », ce qui n'a de sens que sur un territoire suffisamment étendu comme le territoire national), des éléments structurants comme l'équilibre offre-demande en électricité ou la sortie du nucléaire,
- le niveau régional, plus proche de l'opérationnel, intègre les caractéristiques régionales en production (potentiels d'énergies renouvelables notamment) et en consommation (parc bâti, climat, équipements, infrastructures de transport, densité de population, ...)

A l'issue de cet état des lieux en France, plusieurs constats émergent. Des éléments structurants apparaissent autour des scénarios énergétiques ambitieux, en particulier de la nécessité d'une très forte **maîtrise de l'énergie**. Tous les scénarios énergétiques ambitieux, y compris ceux dans lesquels l'offre et les approches technologiques prédominent, s'accordent sur le fait qu'il n'y a que des avantages à réduire les consommations, et à les réduire aussi fortement que possible, dans tous les secteurs et pour tous les usages – toutes les conséquences de ce premier point n'ont manifestement pas encore été tirées en France.

Structurant également, le fait que les **énergies renouvelables** peuvent être mobilisées autant que possible, et que la **biomasse-énergie** est également un point clé de tout scénario ambitieux – la question étant ensuite de

savoir comment cette biomasse est produite, par des cultures dédiées ou par la mobilisation des résidus. La prise de conscience de l'importance de la biomasse pour les prochaines décennies n'est pas encore acquise aujourd'hui, en France.

Une fois posés ces éléments structurants, les points de débat portent sur le niveau d'ambition dans la réduction des consommations d'énergie et dans les énergies renouvelables, avec des sceptiques et des convaincus, des détracteurs et des promoteurs. La question de l'équilibre offre-demande en électricité est un exemple de domaine de débat qui, pour l'instant, tourne court.

Enfin, parmi les éléments de blocage se trouve le nucléaire, qui cristallise les passions. Les paris sur des ruptures technologiques et les propositions d'investissements massifs dans la R&D (Génération IV voire fusion, carburant 2^e génération, hydrogène, stockage, ...) sont souvent des points de blocage importants également.

II- Typologie de scénarios – critères de sélection

Les scénarios énergétiques se distinguent par différents critères, qui permettent ou non de les comparer. Nous dressons ici une liste de critères structurants, et détaillerons ensuite les critères utilisés pour sélectionner les scénarios les plus intéressants pour notre analyse et notre construction du scénario négaWatt régionalisé pour Provence-Alpes-Côte d'Azur.

1- Principaux critères de construction des scénarios

Les principaux critères pris en compte sont les suivants :

Périmètre territorial des scénarios : il va du monde entier à la commune, ce qui entraîne des niveaux de précision variables.

Périmètre des usages : il couvre soit l'électricité seule, soit également la chaleur et la mobilité.

Périmètre sectoriel : les secteurs analysés peuvent recouvrir le bâtiment (résidentiel et tertiaire), la mobilité (des personnes et des marchandises), l'industrie et l'agriculture.

Maîtres d'ouvrage : ils peuvent être publics (Etat, autorités locales) ou privé (généralement ONG et Instituts de recherche). Les scénarios issus des autorités publiques ont un caractère officiel, la responsabilité de leur mise en œuvre incombe directement au maître d'ouvrage. Les scénarios portés par la société civile ont davantage pour vocation de mobilisation des acteurs et d'attirer l'attention sur des problématiques spécifiques (faisabilité technique, intérêt économique, importance de soutenir des secteurs, intérêt en termes d'emploi, ...). La connaissance du maître d'ouvrage permet souvent de décoder les hypothèses qui ont présidé à la réalisation du scénario.

Méthodologie : les scénarios peuvent partir d'hypothèses économiques, ou se baser principalement sur une analyse physique des possibles. La plupart des scénarios intègrent les deux approches, et en tout état de cause, aucun scénario avec une approche purement macro-économique n'aboutit à des résultats à la hauteur des enjeux environnementaux. Les scénarios intègrent aussi, souvent, des objectifs définis (émissions de gaz à effet de serre, part d'énergie renouvelable ou date de sortie du nucléaire par exemple). En termes de construction, les scénarios peuvent être issus de travaux à caractère participatif (approche danoise par exemple), ou être gérés en interne aux services de l'Etat. La définition des hypothèses et du périmètre d'analyse peut conduire à des scénarios très différenciés : prise en compte de ruptures technologiques, travail sur l'équilibre offre-demande en électricité, analyses spécifiques sur l'usage de la biomasse (usage des terres), ...

Objectifs : ils sont souvent exprimés en réduction des émissions de CO₂, et peuvent également porter sur des énergies (sortie du nucléaire, sortie du charbon).

Niveaux d'ambition : les niveaux d'ambition sont très variables entre scénarios. Ils peuvent aller, pour les émissions des CO₂, d'une augmentation à une réduction d'un facteur 17. Le taux de couverture par les énergies renouvelables peut aller d'1/3 à 100%, et la part de nucléaire d'un doublement à une sortie du nucléaire.

Horizon temporel : il est le plus souvent fixé à 2050, parfois 2030 ou 2035.

2- Typologie de scénarios retenus

Nous n'avons pas retenu les scénarios dont le niveau d'ambition est inférieur à un facteur 2 en CO₂ au niveau mondial, et facteur 4 pour les pays industrialisés. Nous nous sommes concentrés sur les scénarios qui s'approchent du « 100% renouvelable », sur tous les usages. Nous n'avons pas détaillé les scénarios ne

traitant que de l'électricité, qui est le vecteur le moins complexe à passer en « 100% renouvelable »⁷. Nous privilégions autant que possible les maîtres d'ouvrage officiels, dont la réalisation a plus de chance d'intervenir, sans exclure les scénarios de la « société civile ». Nous ne prenons pas en compte les scénarios dont la réalisation dépend de très nombreuses ruptures technologiques (capture et séquestration carbone, hydrogène, fusion, génération IV, ...), qui relèvent davantage de la fiction que de la prospective⁸. Nous privilégions enfin les scénarios incluant une sortie du nucléaire, compte tenu de la mission qui nous est confiée d'explorer les conséquences des scénarios de sortie du nucléaire pour Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Les **scénarios mondiaux** ou sur un groupe de pays se basent sur des données très générales, en grandes masses. Ces données sont souvent issues d'organismes qui sont davantage à l'aise sur les données de production que de consommation, et qui du coup n'ont pas nécessairement la vision de l'ambition qu'il est possible de porter en termes de réduction de consommation lorsque l'on analyse les potentiels sur le terrain. Enfin, les scénarios issus des grandes organisations officielles doivent prendre en compte trop d'intérêts nationaux pour être à des niveaux d'ambition élevés – les scénarios de l'Agence Internationale de l'Energie sont à ce titre caractéristiques et assez désespérants, dans leur obstination à prévoir des croissances continues de combustibles fossiles jusqu'à 2050.

Nous retiendrons deux scénarios récents de grandes organisations non gouvernementales, Greenpeace et WWF, qui sont assez complémentaires dans leurs analyses et constituent de remarquables travaux de synthèse au niveau mondial. Compte tenu de leur périmètre très large, leur apport est limité pour notre analyse, mais ils constituent des cadres de réflexion à connaître.

- Greenpeace: Energy [r]evolution - a Sustainable World Energy Outlook, 2010
- WWF: The Energy Report - 100% Renewable Energy by 2050, 2011

Nous donnerons quelques éléments également, sans les analyser aussi précisément, trois scénarios européens:

- *RE-thinking 2050 - A 100% Renewable Energy Vision for the European Union*, EREC (European Renewable Energy Council), 2010
- *Europe's Share of the Climate Challenge - Domestic Actions and International Obligations to protect the Planet*, Stockholm Environment Institute (SEI), 2009
- *EU-27 100% Sustainable Energy by 2040*, INFORSE-Europe (International Network for Sustainable Energy – Europe), 2010.

Les **scénarios nationaux** nous paraissent d'un intérêt bien plus élevé pour notre analyse. Nous n'avons retenu ici que les scénarios portés par des gouvernements, pour montrer que l'ambition énergétique n'est pas seulement portée par des organisations « alternatives » mais peut au contraire être perçue comme une stratégie nationale gagnante d'un point de vue socio-économique environnemental et industriel. Nous présentons les scénarios officiels allemands, danois et autrichiens. En l'absence de scénarios régionaux au

⁷ Citons notamment:

Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen, Umwelt Bundes Amt (UBA), 2010

Climate-friendly, reliable, affordable: 100% renewable electricity supply by 2050, WWF UK, 2011

Renovables 100% - Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular y su viabilidad económica, Greenpeace Spain, 2006

Solar Catalonia II - A Pathway to a 100% Renewable Energy System for Catalonia, Institute for Sustainable Solutions and Innovations (iSUSI), 2009

Das Regenerative Kombikraftwerk, Institut für EnergieversorgungsTechnik (Universität de Kassel), 2008

Energy rich japan, Institute for Sustainable Energy Policies (ISEP), 2003

⁸ Par exemple : *Towards a Low-Carbon Finland*, Bureau du premier Ministre finlandais, 2009

sens français du terme (territoire à l'échelle d'une Région française), nous montrerons comment ces deux derniers se rapprochent finalement de scénarios régionaux...

Les **scénarios infrarégionaux** portent sur des territoires peu étendus, avec une possibilité limitée de foisonnement⁹ de l'offre renouvelable, et une population généralement réduite, donc une possibilité limitée de foisonnement dans la consommation¹⁰. Par ailleurs, un territoire trop restreint conduit à avoir des « effets de bords » importants, qui peuvent perturber, voire biaiser l'analyse (flux de transports traversant le territoire, carburants consommés mais non utilisés sur le territoire et inversement, ...).

A l'étranger, les scénarios « 100% renouvelable » menés sur des territoires comparables à des Régions françaises sont rares, et l'accès aux données et aux méthodes n'est pas aisé. Il est important de citer le réseau des territoires « 100% renouvelable », qui se développe fortement en Allemagne, et qui est relayé en France par le réseau « TEPOS » (Territoires à Energie Positive), dans lequel se trouvent le Menée, en Bretagne, ou la Biovallée, en Rhône-Alpes. Ces initiatives ne sont cependant pas des scénarios à proprement parler, et ils ne peuvent être analysés comme tels.

La France ne dispose à ce jour (début 2012) d'aucun scénario régional « 100% renouvelable » ; le travail de scénario négaWatt régionalisé pour la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur en est un premier exemple.

Nous avons choisi de citer succinctement deux travaux prospectifs, celui du Vorarlberg en Autriche, et celui de la Sarre en Allemagne.

Au final, nous n'avons pas trouvé de scénarios énergétiques régionaux ambitieux du type « 100% renouvelable », sur des territoires comparables à la région Provence-Alpes-Côte d'Azur en PIB, population et surface. Les scénarios qui s'en rapprochent le plus sont en fait... les scénarios danois et autrichiens, qui finalement, en termes de taille, sont comparables à une Région française ; nous nous sommes donc davantage concentrés sur ces scénarios, qui nous apportent le plus d'éléments en vue du travail de scénarisation régionale (voir encadrés de la partie III).

III- Les scénarios énergétiques ambitieux

Nous analysons les scénarios en fonction de leur périmètre : mondial et européen, national, infranational.

1- Scénarios énergétiques mondiaux et européens ambitieux

Seuls deux scénarios énergétiques mondiaux répondent à des niveaux ambitieux de réduction des émissions de gaz à effet de serre, tous deux issus de grandes ONG environnementales : le scénario Energy [r]evolution de Greenpeace, et l'Energy Report du WWF.

M1- Energy [r]evolution – Greenpeace

Le scénario **Energy [r]evolution** de Greenpeace [Greenpeace, 2010] est sorti en 2010, et constitue une actualisation de deux scénarios précédents (le dernier sorti en 2007).

⁹ La présence, sur un territoire suffisamment étendu, d'un grand nombre de sources de production d'énergie renouvelable, conduit à une courbe de production qui varie autour d'une production constante (il y a toujours, sur le territoire, des sources qui produisent : éoliennes, photovoltaïque, hydraulique, biogaz, ...). Le fantasme des énergies renouvelables « intermittentes et aléatoires » est ainsi balayé par les observations, qui montrent que les énergies renouvelables, suffisamment nombreuses sur un territoire suffisamment étendu, sont « variables et prévisibles ».

¹⁰ Le foisonnement sur la demande est basé sur un nombre de personnes suffisantes sur un territoire suffisamment étendu. Dans ce cas, on observe des fluctuations de consommations autour d'une consommation « en base ».

Date : 2010

Périmètre territorial : monde

Périmètre des usages : tous les usages

Maître d'ouvrage : ONG environnementale ; Greenpeace international, avec l'European Renewable Energy Council (EREC)

Horizon temporel : 2050

Méthodologie : L'analyse porte sur un scénario Energy [r]evolution, et un scénario « avancé » (« Advanced » Energy [r]evolution), plus ambitieux. Le scénario tendanciel est basé sur le tendanciel de l'Agence Internationale de l'Énergie. Un des points clés du scénario « avancé » est la baisse plus rapide du charbon, qui accélère le mouvement de maîtrise de l'énergie et de production renouvelable.

L'analyse énergétique est menée par groupe de pays et par usage, pour la consommation et la production, et elle est complétée par une analyse socio-économique. Les hypothèses sont clairement posées et le travail réalisé constitue une synthèse remarquable des potentiels tant en énergie renouvelable qu'en maîtrise des consommations d'énergie. Certaines ruptures technologiques sont prises en compte (pile à combustible par exemple), mais à des niveaux qui restent prudents. Les choix effectués (pas de nucléaire, pas de séquestration du Carbone, ...) sont précisément détaillés et argumentés.

Objectifs : facteur 2 en CO₂, facteur 5 pour le scénario avancé, sortie totale du nucléaire avant 2050

Résultats :

- La maîtrise des consommations d'énergie conduit à une hausse très modérée de la consommation : 12% en 2050 au niveau mondial par rapport à 2007 (baisse de 64% par rapport au tendanciel de l'Agence Internationale de l'Énergie).
- Le système électrique mondial est à 95% renouvelable en 2050, basé principalement sur l'éolien, le solaire à concentration et le photovoltaïque, avec un réseau flexible (smart grid, pompage, stockage notamment en hydrogène pour le surplus, ...)
- La chaleur à 91% renouvelable, basé principalement sur la biomasse.
- Les énergies fossiles restantes sont principalement utilisées dans les transports, qui passent en bonne partie à l'électricité (les biocarburants sont peu mobilisés).
- Les énergies renouvelables couvrent environ 80% des consommations d'énergie en 2050.
- La biomasse est la principale source d'énergie renouvelable.
- Le surinvestissement (notamment pour l'électricité renouvelable) est notable les premières années par rapport au tendanciel, mais compensé par une baisse des dépenses de combustibles et de carburants. Au bout de quelques années, la réduction des coûts d'exploitation compense ce surinvestissement. Les créations d'emplois sont chiffrées à plusieurs millions à 2020.

M2- The Energy Report - WWF

Le scénario **The Energy Report - 100% Renewable Energy by 2050**, du WWF est sorti en 2011 [WWF, 2011].

Date : 2011

Périmètre territorial : monde

Périmètre des usages : tous les usages

Maître d'ouvrage : ONG environnementale ; WWF, avec Ecofys et l'OMA (Office for Metropolitan Architecture)

Horizon temporel : 2050

Méthodologie : La demande en énergie est analysée par grandes régions (10 zones), par secteur et par usage, puis l'offre est analysée par priorité (renouvelables hors biomasse, biomasse, autres énergies). Un effort particulier est fait pour bien relier les usages et les ressources mobilisées, par secteur. Une analyse approfondie est menée sur la biomasse, considérée comme la clé du scénario, avec une priorisation des ressources (des résidus aux cultures) et une analyse des usages des sols. Les rares ruptures technologiques retenues (cultures d'algues par exemple) sont aisément substituables. Une approche économique est également mise en œuvre.

Objectifs : facteur 5 en CO₂ entre 1990 et 2050, sortie totale du nucléaire avant 2045

Résultats :

- La maîtrise des consommations d'énergie conduit à une baisse de 15% de la consommation en 2050 au niveau mondial par rapport à 2005.
- Le système électrique mondial est à « 100% renouvelable » en 2050, basé principalement sur le photovoltaïque et l'éolien, qui représentent plus de 55% de l'offre d'électricité, alors même que la consommation d'électricité augmente fortement dans le scénario, avec un quasi triplement entre 2000 et 2050. Un travail est mené sur la flexibilité de la demande et du réseau (pompage et stockage, notamment en hydrogène pour le surplus, ...), et sur une hausse progressive des énergies variables (éolien et photovoltaïque) pour laisser le temps d'adapter le réseau.
- L'électricité est utilisée notamment dans le bâtiment (climatisation, pompes à chaleur, autres usages), alors que les usages de la chaleur chutent fortement (rénovations thermiques). Elle est également utilisée dans les transports, en complément des efforts de réduction de la consommation.
- Les énergies renouvelables couvrent plus de 95% de la consommation en 2050.
- La biomasse est la première source d'énergie renouvelable, avec plus de 40% de la production. Contrairement à d'autres scénarios, elle est peu utilisée dans le bâtiment, mais elle couvre les 2/3 des besoins de l'industrie en 2050, et l'ensemble des besoins des transports (hors électrification) ; les transports sont donc « 100% renouvelables » également. Seule l'industrie consomme encore des énergies fossiles pour les usages spécifiques.
- Le scénario ambitieux requiert plus d'investissements initiaux, mais les bénéfices sont ensuite supérieurs au scénario tendanciel – les investissements croissent jusqu'à 2035, mais moins vite que les économies et les recettes, d'où un résultat net positif entre investissement et recettes à partir de 2040 environ.
- L'analyse de l'usage des terres conduit à proposer une réduction des gaspillages et une évolution de la consommation alimentaire, notamment au niveau de la viande (division par 2 dans les pays de l'OCDE).

M3- Autres scénarios européens

Nous traiterons succinctement les scénarios ambitieux au niveau européen (Europe des 27) pour nous concentrer sur des scénarios nationaux. Citons les scénarios suivants :

- RE-thinking 2050 [EREC, 2010]

Ce scénario, réalisé par EREC (qui regroupe les principaux industriels des énergies renouvelables en Europe), conduit à une baisse de 17% des consommations finales à 2050, en considérant qu'une réduction de 67% est possible. Ce choix permet de montrer le niveau de production que les énergies renouvelables pourraient atteindre en Europe.

Les énergies renouvelables couvrent 2/3 de la consommation d'électricité en 2030, 100% (voire davantage) en 2050. Les principales sources de production sont l'éolien et le photovoltaïque, qui représentent près de 60% de la production d'électricité renouvelable.

Les énergies renouvelables couvrent plus de 50% de la consommation de chaleur en 2030, 100% en 2050, principale source la biomasse (45%).

Les énergies renouvelables couvrent 12% de la consommation dans les transports en 2030, 68 à 98% en 2050. Dans ce secteur, cette augmentation se fait grâce à un passage massif à l'électricité, et aux biocarburants.

Au final, les énergies renouvelables couvrent plus de 95% de la consommation d'énergie en 2050. La biomasse est la première source d'énergie en 2050 (36% de la production), suivie de l'éolien.

Les émissions de CO₂ sont réduites de 90% entre 1990 et 2050.

- Europe's Share of the Climate Challenge [SEI, 2009]

Le rapport du SEI (Stockholm Environment Institute) complète bien l'analyse d'EREC, en travaillant davantage sur les réductions de consommations que sur la production d'énergie renouvelable. Les réductions des consommations d'énergie primaire sont de 67% en 2050, les énergies renouvelables couvrent 60% de la consommation d'énergie en 2050, et les réductions d'émissions de CO₂ sont de 40% en 2020, et 90% en 2050.

- EU-27 100% Sustainable Energy by 2040 [INFORSE, 2010]

Le scénario d'INFORSE-Europe (International Network for Sustainable Energy – Europe) est moins détaillé. Il suppose une baisse de la consommation d'énergie finale de près de 60% à 2050, 50% d'énergie renouvelables en 2030 et 95% en 2040. Les principales énergies renouvelables sont la biomasse, puis éolien.

Rappelons pour mémoire que Greenpeace a décliné son scénario mondial sur l'Europe : Energy [r]evolution Europe (2010).

2- Les scénarios énergétiques nationaux ambitieux

Nous analysons les scénarios officiels allemands, danois et autrichiens. Nous ne présentons donc pas les scénarios type INFORSE (Vision2050) ou Greenpeace (Energy [r]evolution), déclinés pour de nombreux pays, ni le scénario très ambitieux de l'Australie, à l'horizon 2020¹¹. Les gouvernements allemands, danois et autrichiens ont bien sûr davantage de prérogatives que la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, qui partage ses décisions avec l'Etat français, mais ces scénarios permettront de mieux comprendre les ambitions, au plus haut niveau, de nos voisins européens, ainsi que les objectifs qu'ils se fixent à leur politique énergétique.

N1- Allemagne

L'Allemagne dispose de plusieurs scénarios énergétiques ambitieux, tant officiels qu'« alternatifs »¹². Nous ne présenterons ici que le scénario officiel, « Energiekonzept » [BMU, 2010], qui n'est pas nécessairement le plus ambitieux mais a l'avantage de montrer le niveau de prise en compte des enjeux énergétiques et l'ambition pour y répondre, au plus haut niveau des autorités publiques allemandes.

Date : 2010 (actualisé mi-2011)

Périmètre territorial : Allemagne

Périmètre des usages : tous les usages

Maître d'ouvrage : BMU (Ministère de l'Environnement, de la Conservation de la Nature et de la Sécurité nucléaire allemand) – avec Prognos AG, EWI (Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln) et GWS (Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung)

Horizon temporel : 2050

Méthodologie :

L'analyse est basée sur différents scénarios énergétiques, ou plutôt différents « tirs » avec plusieurs durées de sortie du nucléaire (4, 12, 20 et 28 ans) et des niveaux d'efficacité différenciés. Leur fonction est de voir s'ils atteignent les objectifs assignés (CO₂, énergies renouvelables), et lequel est le plus efficace. Ces scénarios énergétiques sont couplés à des scénarios économiques, et une analyse spécifique des politiques et mesures, par acteur, à mettre en œuvre.

A noter la volonté affichée de contrôles des évolutions énergétiques réelles par rapport au scénario retenu, rendus public tous les 3 ans, et effectué sur des bases scientifiques et transparentes.

Objectifs : -40% en CO₂ entre 1990 et 2020, facteur 5 en 2050, sortie totale du nucléaire en 2022.

¹¹ *Zero Carbon Australia Plan 2020 - Stationary Energy Plan*, Energy Research Institute/Melbourne University, 2011.

¹² Citons notamment :

Energiezukunft 2050, Forschungsstelle Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2009; FfE regroupe les 4 plus gros fournisseurs d'énergie allemands (EnBW, E.ON Energie, RWE Power et Vattenfall Europe).

Modell Deutschland Klimaschutz bis 2050, WWF Allemagne-Ökoinstitut et Prognos AG, 2009.

Klimaschutz: Plan B 2050, Greenpeace Allemagne-EUtech, 2009.

Résultats :

- La maîtrise des consommations d'énergie est un axe fort de la politique énergétique allemande. Elle permet d'atteindre 20% de baisse des consommations d'énergie primaire en 2020 par rapport à 2008, 50% en 2050. La consommation d'électricité baisse de 10% en 2020 par rapport à 2008, 25% en 2050.
- La consommation d'énergie finale des transports baisse de 10% en 2020 par rapport à 2005, et de 40% en 2050. La demande d'énergie primaire pour le bâtiment est divisée par 5 en 2050.
- Les énergies renouvelables couvrent 18% de la consommation en 2020, 60% en 2050. L'électricité renouvelable couvre 35% de la consommation d'électricité en 2020, 80% en 2050.
- La biomasse est la première source d'énergie renouvelable et représente plus de 50% des énergies renouvelables en 2050. L'éolien, seconde source, représente plus de 17% de la production d'énergie renouvelable, plus de 45% de la production d'électricité renouvelable.

N2- Danemark

Comme l'Allemagne, le Danemark dispose de plusieurs scénarios énergétiques ambitieux, tant officiels qu'« alternatifs »¹³. Le scénario de la Société des Ingénieurs Danois (IDA) est particulièrement intéressant dans son processus de construction – élaboré avec la participation de 1600 intervenants, et largement discuté lors de 40 séminaires. Nous ne présentons cependant ici que le scénario officiel, « Notre énergie future » [Gouvernement danois, 2011], qui est probablement le plus ambitieux scénario énergétique au niveau mondial. Rappelons que le précédent gouvernement danois avait validé en 2008 un scénario énergétique déjà très ambitieux, et que le changement de gouvernement (et de tendance politique) en 2011 a conduit à renforcer les objectifs et les ambitions.

Date : 2011

Périmètre territorial : Danemark

Périmètre des usages : tous les usages

Maître d'ouvrage : Gouvernement danois

Horizon temporel : 2050

Méthodologie :

Le scénario danois est intéressant en ce qu'il est très opérationnel. Il ne va pas s'enfermer dans des détails, il présente les grandes masses en production et consommation, et s'attache en revanche davantage à décrire le programme d'actions attaché à ces grandes évolutions, avec une précision remarquable.

Objectifs : -35% en CO₂ entre 1990 et 2050, 100% d'énergie renouvelable en 2050, sortie totale du charbon en 2030

Résultats :

- La maîtrise des consommations d'énergie est au centre du scénario et de la politique énergétique danoise. Le scénario prévoit une baisse de 14% de la consommation d'énergie finale en 2020
- Le système énergétique est 100% renouvelable en 2050, le système électrique et la chaleur sont « 100% renouvelables » en 2035
- La couverture de la consommation d'énergie par les énergies renouvelables est de 36% en 2020, avec 70% d'électricité renouvelable, l'électricité éolienne en représentant 52%.
- L'éolien représente 30% de toute la production d'énergie en 2035, et la biomasse 35% ; la répartition en 2050 n'est pas connue.

¹³ Citons notamment :

Plan énergétique de la Société des Ingénieurs Danois, Société des Ingénieurs Danois, 2006

Denmark - 100% Sustainable Energy Vision 2030, INFORSE-Europe and the Danish Organization for Sustainable Energy (OVE), 2008

Power to the People, Danish Energy Association, 2009

Vision 2009: Denmark CO₂-free in 2030, Danish Organization for Sustainable Energy, 2009

La conversion du système énergétique, Greenpeace, 2010

Le scénario danois : un modèle régional pour la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur ?

Il est important de noter que le Danemark s'apparente davantage, en termes de surface et de population, à une région française, qu'à un pays : sa population, en 2010, était de 5,5 millions d'habitants, sur une surface de 43 090 km², contre 5,0 millions d'habitants en Provence-Alpes-Côte d'Azur et une surface de 31 399 km².

Il est également important de souligner que le Danemark a déjà à son actif des évolutions remarquables au niveau de la politique énergétique, depuis plus de 15 ans : les émissions de gaz à effet de serre, si elles restent élevées, ont baissé de 25% entre 1995 et 2008, la consommation d'énergie primaire a baissé de 7% sur cette période et la consommation nette d'électricité par habitant de 15%. Les Danois sont les leaders de l'éolien (premier pays en puissance par habitant) et de la cogénération (elle couvre 77% du chauffage urbain et représente 55% de la puissance électrique danoise). Leur gestion en coopérative (notamment pour l'éolien) est également remarquable.

Comme le décrit Thierry de Larochelambert¹⁴, « ce tableau encourageant est le résultat d'une politique nationale concertée et pensée, fondée sur une modification en profondeur des structures de production, de distribution et de consommation des différents acteurs énergétiques (population, municipalités, opérateurs, administrations, industries, agriculteurs, universités) :

- mise en place généralisée des *réseaux de chaleur* locaux (jusqu'à 100 maisons) et urbains
- généralisation de la *cogénération* et de la *micro-cogénération*
- production massive d'*électricité éolienne*
- production massive d'électricité par centrales de *cogénération à biomasse et déchets urbains*
- *participation active de la population, des universités, des entreprises, du parlement et du gouvernement* dans l'élaboration des plans énergétiques nationaux
- forte *décentralisation de la planification énergétique* (schémas d'implantation des parcs éoliens, des réseaux de chaleur, des centrales de cogénération) »

Les ordres de grandeur de population et de territoire étant comparables entre le Danemark et la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, une analyse approfondie des pratiques et des choix de politiques énergétiques danois serait souhaitable pour voir comment un tel territoire en est arrivé à être un leader dans l'éolien, et à porter le projet de transition énergétique peut-être le plus ambitieux au monde.

N3- Autriche

La stratégie énergétique autrichienne, élaborée conjointement entre 2009 et 2010 par les ministères de l'environnement et de l'économie, est très ambitieuse [Ministère de l'environnement autrichien, 2010]. Conçue pour répondre, et probablement dépasser, les exigences européennes à l'horizon 2020, elle vise également à jeter les bases d'un système renouvelable à l'horizon 2050¹⁵. Le terme utilisé en Autriche est celui d'« autarcie énergétique », cette expression ne remettant pas en cause les échanges avec l'extérieur du pays, mais visant à un équilibre des impacts entre les importations et les exportations d'énergie.

Date : 2010

Périmètre territorial : Autriche

Périmètre des usages : tous les usages

Maître d'ouvrage : Ministères autrichiens de l'environnement et de l'économie

Horizon temporel : 2050

¹⁴ Pour plus de précisions : « La politique énergétique du Danemark - Vers un scénario 100% renouvelable en 2050, Thierry de Larochelambert, 2011.

¹⁵ Les documents officiels portent principalement sur l'horizon 2020. Pour l'horizon 2050, nous nous appuyons sur l'analyse de Wolfgang Streicher, de l'Université d'Innsbruck, pour le Ministère de l'Environnement : *Energieautarkie für Österreich 2050*.

Méthodologie :

La stratégie énergétique de l'Autriche a été élaborée par 180 experts de différents domaines (économie, environnement, sociologie, ...) sous l'égide des ministères de l'environnement et de l'économie. L'objectif est prioritairement de répondre aux exigences européennes en 2020, mais aussi de préparer le futur énergétique à plus long terme. Au-delà des chiffres, le travail aboutit à un ensemble de 39 paquets de mesure qui visent à répondre aux enjeux. Cette stratégie a été évaluée qualitativement et quantitativement et validée par quatre institutions différentes : l'Agence Autrichienne de l'Energie, le Ministère de l'Environnement, eControl (agence nationale de régulation) et l'Institut de Recherche en Economie (WIFO).

Pour l'analyse à 2050 (W.Streicher), deux scénarios sont pris en compte en plus du tendanciel : un scénario de stabilisation des services énergétiques, et un scénario de croissance de 40% de ces services.

Objectifs : Dans les documents officiels : stabilisation des consommations d'énergie en 2020 au niveau de 2005, 35% d'énergie renouvelable environ en 2020.

Résultats (horizon 2050) :

- La consommation d'énergie finale baisse de 40% environ entre 2008 et 2050 (dans le scénario le plus défavorable, « scénario de croissance »). Les énergies renouvelables couvrent 100% de la consommation en 2050.
- La consommation d'énergie finale des bâtiments est divisée par 2 en 2050 par rapport à 2008. Elle est couverte principalement par un usage intelligent de l'électricité (pompes à chaleur efficaces), l'usage de la biomasse étant fortement réduit entre 2008 et 2050 (division par 4) ; la biomasse est réservée pour les transports et l'industrie.
- La consommation d'énergie finale des transports est réduite de 70% en 2050. Elle est couverte principalement par des carburants renouvelables (biocarburants et gaz renouvelable), et par l'électricité.
- La consommation d'énergie finale de l'industrie est réduite de 35% (scénario « constant ») ou stabilisé (scénario « croissance des services »). Elle est couverte par la biomasse et le solaire thermique (chaleur) et l'électricité.
- La biomasse est ainsi la première source d'énergie renouvelable en 2050, puis l'hydroélectricité, l'éolien et le photovoltaïque.

Le scénario autrichien : un autre modèle « régional »

Comme pour le Danemark, une comparaison s'impose : l'Autriche a une population de 8,4 millions d'habitants en 2011, pour une surface de 83 879 km². Les énergies renouvelables couvrent près de 31% de la consommation d'énergie en 2010, contre 24% en 2005. L'électricité renouvelable couvre près des 2/3 de la consommation d'électricité. Les principales sources d'énergies renouvelables sont la biomasse (bois et dérivés) et l'hydraulique, qui représentent environ 80% de la production renouvelable.

L'Autriche est leader dans les bâtiments passifs, dont elle possède la plus grande densité. En termes de recherches, elle est pilote pour les pompes à chaleur, l'usage de la biomasse ou les réseaux de chaleur.

C'est potentiellement une source d'inspiration remarquable pour les Régions française souhaitant avancer vers un système énergétique « 100% renouvelable ».

3- Autres scénarios énergétiques ambitieux (infranationaux)

Deux scénarios infranationaux sont présentés : le Vorarlberg et la Sarre. Leur taille tient plus, en France, de l'intercommunalité que de la Région, mais leur approche énergétique ambitieuse justifie qu'elle soit présentée succinctement.

R1- Vorarlberg (Autriche)

Le Vorarlberg, en Autriche, est une région rurale et forestière, considérée pendant des décennies comme « sinistrée » compte tenu du peu d'activités sur le territoire. Un grand mouvement, ambitieux, dans le domaine de l'énergie et du bois d'œuvre, intégrant un travail architectural sur la construction bois, a permis à cette région autrichienne d'être le fer de lance du pays au niveau énergétique [Vorarlberg, 2011].

Date : 2011 (mais construction toujours en court)

Périmètre territorial : région du Vorarlberg (2 601 km², 367 900 habitants)

Périmètre des usages : tous les usages

Maître d'ouvrage : Gouvernement du Vorarlberg

Horizon temporel : 2050

Méthodologie :

Le travail de construction d'une stratégie énergétique pour le Vorarlberg est remarquable par la dynamique et la participation qu'il a suscité (70 ateliers, 5 conférences, 10 groupes de travail). Le travail est coordonné par l'Institut de l'Energie du Vorarlberg, qui dispose de 40 salariés, et 40 collaborateurs associés. Le travail est entièrement tourné vers l'opérationnel : site Internet, conseil, mise en avant des bonnes pratiques et des meilleurs exemples, ...

Objectifs : plus de 100% renouvelable en 2050 ; les objectifs en émissions de CO₂ ne sont pas indiqués dans les documents dont nous disposons.

Résultats :

- La maîtrise des consommations d'énergie conduit à une baisse de 68% de la consommation d'énergie finale du territoire en 2050.

- Le territoire produit en 2050 plus d'énergie renouvelable que sa consommation d'énergie (environ 25% en plus).

- La biomasse représente la principale source d'énergie renouvelable, et elle constitue un fil conducteur pour le développement de la région (exploitation du bois et de ses dérivés en particulier, développement des réseaux de chaleur, ...). L'hydroélectricité est la première source d'électricité renouvelable. Notons également les objectifs très élevés en termes de bâti (neuf et rénovation, avec des exemples de rénovation à facteur 10).

R2- Sarre (Allemagne)

Parmi les régions allemandes avec des objectifs « 100% renouvelables », la Sarre a détaillé son approche sous la forme d'un scénario énergétique [Sarre, 2008]. Les analyses portent principalement sur l'électricité avec un horizon à 2030, mais avec des objectifs sur la chaleur et la mobilité d'ici 2050.

Date : 2008

Périmètre territorial : région de la Sarre (2 569 km², 1 million d'habitants)

Périmètre des usages : tous les usages (l'électricité est davantage détaillée)

Maître d'ouvrage : Gouvernement de la Sarre

Horizon temporel : 2030

Méthodologie :

Le scénario travaille plus finement sur l'électricité que sur la chaleur ou la mobilité. Le territoire base toute sa stratégie sur les « 3 E » : Economies d'énergie, Efficacité énergétique, Energies Renouvelables- une stratégie qui ressemble beaucoup à la démarche négaWatt... L'équilibre offre-demande est étudié, pour l'électricité. L'intérêt de l'approche est l'analyse très détaillée de l'intérêt, pour le territoire, de la trajectoire énergétique proposée.

Objectifs : 100% d'électricité renouvelable en 2030, puis chaleur et mobilité (moins détaillé) ; les objectifs en émissions de CO₂ ne sont pas indiqués dans les documents dont nous disposons.

Résultats :

- La maîtrise des consommations d'énergie conduit à une baisse de 20% de la consommation d'électricité du territoire en 2030.

- L'électricité, en 2030, est « 100% renouvelable » et provient de l'éolien (37%), du photovoltaïque (34%) et de la biomasse (25%).

- l'investissement à 2030 est de 7,3 milliards d'euros, les recettes annuelles engendrées sont de 700 millions d'euros, et 20000 emplois sont créés sur le territoire.

Conclusion

Cette revue de scénarios énergétiques ambitieux nous a permis de constater des **convergences lourdes** entre les scénarios :

Faisabilité technique et économique

- Tous les scénarios concluent à la faisabilité technique et économie d'une transition ambitieuse, ce qui n'est pas une évidence *a priori* – cette transition demandant cependant des efforts importants.
- Tous concluent également à la nécessité, pour que cette transition puisse se faire d'ici 2050, d'une action rapide et volontariste, tout retard mettant en cause la possibilité d'atteindre les objectifs.

La maîtrise de l'énergie

- La **maîtrise de l'énergie** est le paramètre clé de tout scénario énergétique ambitieux. Il n'y a que des avantages, en termes énergétiques, à abaisser autant que possible les consommations d'énergie. Dans les pays industrialisés, cette maîtrise se traduit systématiquement par une baisse des consommations d'énergie.
- Cette baisse des consommations ne signifie cependant **pas une baisse des besoins, ni des services énergétiques rendus**, comme le signalent nombre de scénarios.
- Cette réduction s'appuie systématiquement sur l'efficacité énergétique (qui est souvent un terme considéré comme synonyme de maîtrise de l'énergie). Cependant, des actions sur les comportements et sur les usages superflus sont généralement indiquées, ce qui signifie que **la sobriété fait partie intégrante de ce travail de maîtrise de l'énergie**, même si le terme n'est pas employé.
- Dans l'ensemble des scénarios, **l'effort de maîtrise des consommations porte sur tous les secteurs : bâtiments, transports et industrie.**

Les usages

- **L'électricité** est, dans tous les scénarios, l'usage (ou plutôt le « vecteur ») **le moins complexe à couvrir avec 100% d'énergie renouvelable**. C'est donc le vecteur le plus rapidement produit en « 100% renouvelable », généralement autour de 2030-2040.
- La **chaleur** est le **second usage qui passe en « 100% renouvelable »**.
- Les **transports** sont **nettement plus complexes à traiter** dans une perspective « 100% renouvelable », compte tenu de la dépendance au pétrole de ce secteur. C'est le secteur pour lequel les descriptions sont le moins précises, le moins convaincantes, et pour lesquelles sont sollicitées soit davantage de ruptures technologiques, soit davantage d'efforts comportementaux.

Les énergies renouvelables

- La première source d'énergie renouvelable est toujours la biomasse, toujours loin devant les autres sources d'énergie. Elle est généralement valorisée prioritairement pour la chaleur, et pour les transports (cependant sous des formes différentes entre scénarios).
- La première source d'électricité renouvelable est toujours l'éolien, suivie généralement du photovoltaïque.

Dans les **divergences entre scénarios**, mis à part les choix méthodologiques d'intégrer ou non des ruptures technologiques :

- La baisse des consommations d'énergie est **très variable selon les scénarios** : de quelques pourcents à 2/3 de réduction.
- Le **vecteur électricité** est plus ou moins sollicité dans les scénarios. Les scénarios « tout électrique » utilisent le fait que l'électricité est le premier vecteur à passer en « 100% renouvelable », avec des potentiels de production élevés, pour **passer à l'électrique les secteurs problématiques**, et en particulier les transports (ce qui conduit à intégrer des ruptures technologiques, compte tenu de l'état d'avancement des véhicules électriques), et parfois le bâtiment (ce qui libère des potentiels pour la biomasse). Le recourt massif au vecteur électricité, en production et en consommation, soulève la question de l'équilibre offre-demande des scénarios.

- La mobilisation de la biomasse peut être différente entre les scénarios, entre production agricole industrielle et valorisation des résidus agricoles. Lorsque des analyses détaillées de mobilisation de la biomasse (usage des terres) sont effectuées, elles conduisent à privilégier nettement la valorisation des résidus, dans une logique de développement durable.

Insistons sur le fait que les convergences sont très nombreuses et très structurantes, et qu'elles dépassent largement les divergences évoquées ici.

Références

Références des scénarios français

- [négaWatt, 2003] : Scénario négaWatt 2006 pour un avenir énergétique sobre, efficace et renouvelable, association négaWatt, 2003
- [Prévoit, 2004] : Politique énergétique nationale et lutte contre l'effet de serre, Henri Prévoit, 2004
- [MIES, 2004] : La division par 4 des émissions de CO₂ en France d'ici 2050, MIES, 2004
- [DGEMP, 2005] : Etude pour une prospective énergétique concernant la France, DGEMP-ORE, 2005
- [négaWatt, 2005] : Scénario négaWatt 2006 pour un avenir énergétique sobre, efficace et renouvelable, association négaWatt, 2005
- [De Boissieu, 2006] : Division par 4 des émissions de GES de la France à l'horizon 2050, Christian De Boissieu, 2006
- [négatep, 2007] : Diviser par 4 nos rejets : le scénario négatep , association Sauvons le climat, 2007
- [Réseau Sortir du nucléaire, 2007] : Nucléaire : comment en sortir ? Etude sur des sorties du nucléaire en 5 ou 10 ans, Réseau Sortir du nucléaire, 2007
- [Rapport Syrota, 2007] : Perspectives énergétique de la France à l'horizon 2030-2050, dit « Rapport Syrota », Conseil d'Analyse Stratégique, 2007
- [Virage Energie Nord-Pas de Calais, 2008] : Energies d'avenir en Nord-Pas de Calais - Quelles solutions au dérèglement climatique ?, Virage Energie Nord-Pas de Calais, 2008
- [négatep, 2010] : Diviser par 4 les rejets de CO₂ dus à l'énergie : le scénario négatep, association Sauvons le climat, 2010
- [Vorarlberg, 2011] : L'avenir énergétique du Vorarlberg (ensemble de documents), Gouvernement du Vorarlberg, 2011
- [négaWatt, 2011] : scénario négaWatt 2011, association négaWatt, 2011
- [AFTERRES2050, 2011] : AFTERRES2050, scénario d'utilisation des terres agricoles et forestières pour satisfaire les besoins en alimentation, en énergie, en matériaux, et réduire les gaz à effet de serre, Solagro, 2011

Scénarios étrangers

- [Sarre, 2008] : Regenerative Vollversorgung im Strommarkt des Saarlandes - Der Weg zu 100% erneuerbare Energien bis zum Jahr 2030, Gouvernement de la Sarre, 2008
- [SEI, 2009]: Europe's Share of the Climate Challenge - Domestic Actions and International Obligations to protect the Planet, Stockholm Environment Institute (SEI), 2009
- [BMU, 2010] : Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, Ministère de l'environnement allemand (BMU), 2010.
- [Ministère de l'environnement autrichien, 2010] : *EnergieStrategie Österreich*, Ministère de l'environnement autrichien, 2010
- [EREC, 2010]: RE-thinking 2050 - A 100% Renewable Energy Vision for the European Union, EREC (European Renewable Energy Council), 2010
- [INFORSE, 2010]: EU-27 100% Sustainable Energy by 2040, INFORSE-Europe (International Network for Sustainable Energy – Europe), 2010
- [Greenpeace, 2010]: Energy [r]evolution - a Sustainable World Energy Outlook, Greenpeace, 2010
- [WWF, 2011]: The Energy Report - 100% Renewable Energy by 2050, WWF, 2011
- [Gouvernement danois, 2011] : *Notre énergie future*, Gouvernement danois, 2011

Imprimé sur papier 100% recyclé

