



## PROPOSITIONS POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DANS LE HAUT-RHIN ET LE TERRITOIRE DE BELFORT

APRÈS FERMETURE DÉFINITIVE  
DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE FESSENHEIM

---

**Pr Thierry de LAROCHELAMBERT<sup>a</sup>**

Professeur associé et chercheur à l'Institut FEMTO-ST<sup>b</sup>

Responsable du Pôle magnéto-calorique, D<sup>pt</sup> Energie

Membre de Global Chance<sup>c</sup>

Co-fondateur d'Alter Alsaces Energies

mars 2019

Parc Technologique, 2 avenue Jean Moulin

F-90000 BELFORT – France

Tél : (+33) 3 84 57 82 00 – Fax : (+33) 3 84 57 00 32

---

<sup>a</sup> Courriel : [thierry.de-larochelambert@femto-st.fr](mailto:thierry.de-larochelambert@femto-st.fr)

<sup>b</sup> <http://www.femto-st.fr/fr>

<sup>c</sup> <http://www.global-chance.org/index.php>

# Sommaire

<b>Introduction</b>	3
<b>1. Le démantèlement des réacteurs nucléaires de Fessenheim</b>	4
1.1. Agenda et contraintes	4
1.2. Une déconstruction du réacteur n° 1 pour la recherche sur le vieillissement des matériaux nucléaires	6
1.3. Un démantèlement commercial exemplaire du réacteur n°2	7
<b>2. De nouvelles structures énergétiques locales pour l'avenir</b>	9
2.1. Une sobriété énergétique structurelle prioritaire	9
2.2. Vers un système énergétique renouvelable intelligent et décentralisé (RERI)	11
2.2.1. <i>Un Centre d'Études et de Recherche sur les SERI</i>	12
2.2.2. <i>Le Système Énergétique Renouvelable Intelligent</i>	12
2.2.3. <i>Un pôle de formation professionnelle pour la transition énergétique</i>	13
2.3. Mise en place du SERI	13
2.4. Mise en place des réseaux de transport écologiques	14
2.5. Transition énergétique et écologique de l'agriculture locale	16
<b>3. Planification et financement de la transition énergétique</b>	17
3.1. Un pilotage démocratique et transparent de la transition	17
3.2. S'insérer dans le contexte énergétique de départements transfrontaliers	17
3.3. Des chantiers prioritaires	19
3.4. Visibilité-diversité des financements	19
<b>4. Conclusions</b>	21
<b>Annexe A. Programme de recherche sur le vieillissement des aciers sous irradiation.</b>	23
<b>Annexe B. Structure du Système Énergétique Renouvelable Intelligent proposé</b>	24
<b>Annexe C. Plans d'investissement et d'action sectoriels</b>	29
C.1. . Plan Énergies <b>Renouvelables</b>	29
C.2. . Plan Cogénération et réseaux de <b>chaleur-froid</b>	32
C.3. . Plan Rénovation <b>thermique</b>	33
C.4. . Plan Sobriété-efficacité <b>transports</b>	33
C.5. . Plan Hydrogène – stockage <b>électrochimique</b>	34
<i>Références</i>	37

## Introduction

Les futures PPE (politiques pluriannuelles de l'énergie) actuellement en gestation aux échelles nationale et locales, qui vont engager la France pour les périodes 2019-2023 et 2023-2028, ont intégré la décision actée par la Loi de Transition Énergétique Pour la Croissance Verte du 17 août 2015 et du décret n° 2017-508 du 08 avril 2017, de la fermeture de la centrale nucléaire de Fessenheim, prélude à la reconversion effective du site et du territoire.

L'arrêt définitif des deux réacteurs nucléaires les plus âgés encore en activité 40 ans après leur mise en service en 1977 et 1978, et la fermeture de la centrale nucléaire sont le prélude à la transition énergétique de la France. Ils constituent à ce titre pour notre pays un événement exceptionnel et le début d'un changement structurel énergétique majeur et d'un tournant sociétal et économique fondateur.

Ils sont un *enjeu national* pour l'industrie nucléaire : réussir le premier démantèlement complet de réacteurs nucléaires PWR (REP) de 900 MW<sub>e</sub> en respectant l'environnement, en préservant l'intégrité de la plus grande nappe phréatique d'Europe et en assurant la sécurité des populations. Il faut saisir l'opportunité de cette première industrielle pour faire de ce démantèlement une expérience scientifique de niveau internationale autant qu'une opération industrielle exemplaire.

Ils sont aussi un *enjeu local majeur* : il s'agit de réussir socialement et économiquement la première reconversion complète d'un site de production électrique nucléaire en France et des emplois impliqués, et de mettre en œuvre un plan cohérent de transition énergétique à l'échelle locale vers un système énergétique soutenable à long terme, basé sur les énergies renouvelables, l'efficacité et la sobriété énergétique, l'intelligence et la formation scientifique et technique, l'éducation et la démocratie.

La fermeture de la centrale nucléaire de Fessenheim est une chance pour la région : elle doit jeter les bases d'une nouvelle structure de production-conversion-consommation-stockage efficace et soutenable, un *Smart Energy System* français pour le long terme<sup>1</sup>, fortement créateur des emplois du futur, réellement décarboné, rationnel, flexible, écologique, décentralisé, sécurisé et équilibré à l'échelle tant locale que nationale et internationale.

La présente contribution est le résultat de plusieurs années de recherches théoriques et d'expérimentations locales, menées la plupart du temps en symbiose entre les laboratoires de recherche, les collectivités locales, les organismes institutionnels, les associations et les citoyens.

Dans une démarche qui se veut cohérente, ce travail présente un ensemble de propositions générales (structures) et particulières (dispositifs et installations) regroupées autour d'axes de développement et de recherche énergétiques coordonnés et déclinés sous forme de plans pour assurer simultanément :

- la reconversion du site de la centrale nucléaire de Fessenheim et des emplois directs et indirects liés à la fermeture de cette centrale ;

- la mise en place des futures structures énergétiques et de nouveaux axes de recherche ;
- la conception et la mise en œuvre d'installations énergétiques pilotes et industrielles de production, de conversion et de distribution énergétique soutenables, fortement productrices d'emplois nouveaux ;
- la création de structures de formation professionnelle en lien étroit avec les précédentes ;
- l'aide aux projets cohérents de transition énergétique et écologique locale soutenable, particulièrement dans l'agriculture, les transports et l'habitat ;
- l'instauration d'un pilotage démocratique, économique, social et scientifique exemplaire de l'ensemble du projet de reconversion.

Il faut de plus élargir la réflexion, les initiatives et les investissements post-Fessenheim à tout le Haut-Rhin pour le moins et au Territoire de Belfort (et sans doute une partie sud du Bas-Rhin et des Vosges), car il ne serait pas cohérent ni efficace de restreindre la planification de la transition énergétique et écologique au seul canton de Fessenheim. En outre, une aide financière privilégiée sur ce seul territoire restreint qui a déjà bénéficié pendant 40 ans de privilèges financiers importants sans les utiliser à préparer l'après-nucléaire serait moralement très discutable.

La tâche qui se présente est difficile, mais le défi peut être relevé si les propositions de développement s'inscrivent dans une perspective énergétique rationnelle de long terme, réfléchie, efficace et planifiée démocratiquement. C'est à cette réflexion que ce rapport propose de contribuer en traçant quelques pistes et en élaborant quelques propositions pour la mise en place d'activités liées à la future structure énergétique décentralisée et efficace indispensable pour réussir la transition énergétique du territoire, de la région et de notre pays dans le contexte très stimulant des coopérations transfrontalières.

## 1. Le démantèlement des réacteurs nucléaires de Fessenheim

### 1.1. Agenda et contraintes

La centrale nucléaire de Fessenheim emploie actuellement 750 salariés EDF, dont 95% en CDI, une partie étant détachés d'autres directions d'EDF que la DPN à la CNPE de Fessenheim. Une partie de ces CDI a été récemment embauchée pour assurer la transmission des connaissances des nombreux salariés proches de la retraite.

Environ 500 personnes sont également employées à l'intérieur de la centrale par des entreprises sous-traitantes, et environ 500 emplois de prestataires (commerçants, artisans) liés à l'activité de la centrale travaillent en dehors du site<sup>2</sup>.

Pour des raisons d'efficacité autant que de maintien des emplois directs dans la centrale, il est souhaitable que le démantèlement des deux réacteurs puisse débuter au plus vite après la publication officielle de l'arrêté instaurant l'arrêt définitif des deux réacteurs, leur découplage du réseau et la fermeture de la centrale (après parution du décret autorisant le démantèlement), avec un déchargement complet des combustibles (après une période de décroissance thermique par refroidissement actif à l'arrêt dans les réacteurs découplés du réseau après la chute définitive des grappes de contrôle) dans des piscines de refroidissement bunkérisées à construire dès aujourd'hui<sup>3</sup>.

La décision de démanteler dans les règles la première centrale des 19 centrales nucléaires construites en France sous licence américaine Westinghouse permettra en outre de dresser un bilan financier véritable et transparent des coûts réels du démantèlement complet d'au moins un réacteur commercial à eau pressurisée de type PWR (RPE) de 1 GW<sub>e</sub><sup>4,5,6</sup>.

Les procédures de démantèlement complet d'un réacteur nucléaire, si elles sont relativement bien établies et codifiées<sup>7</sup> pour les petits réacteurs de recherche et les petits réacteurs commerciaux de certaines filières déjà démantelés ou en cours de démantèlement (UNGG, HTR, Candu, BWR), restent encore à préciser et maîtriser pour les grands réacteurs commerciaux de type PWR, BWR et surgénérateurs.

De même, le calendrier des opérations de démantèlement est fortement dépendant de l'âge du réacteur, du type, de la puissance et de la conception de celui-ci (radier, insertion des cuves et des GV, etc.), mais aussi des objectifs poursuivis pendant le démantèlement (démanèlement commercial, de recherche, militaire)<sup>8</sup>. Ainsi, la durée du démantèlement d'un des deux réacteurs nucléaires de Fessenheim pourrait s'étaler entre 20 ans (d'après les estimations très optimistes d'EDF<sup>9</sup>) à plus de 50 ans d'après les retours d'expérience, si l'on prend en compte l'ensemble des aléas techniques probables, des mesures supplémentaires induites par la radioprotection des travailleurs et des populations environnantes, des recours juridiques possibles et inévitables, de la sécurisation et de la mise en dépôt de tous les déchets radioactifs produits lors du démantèlement, etc. Il y a donc une grande incertitude sur la durée du démantèlement, et par conséquent sur les coûts et frais bancaires induits par l'allongement possible et la complexification des opérations.

Par ailleurs, la question de la stratégie du démantèlement se pose en France, au vu de l'effet falaise qui menace le parc nucléaire français : l'échéance de fermeture des réacteurs à 40 ans (même repoussée à 50 ans, au risque d'indisponibilités croissantes et coûteuses) obligera à la fermeture très rapide de nombreux réacteurs par an. Dans ce contexte, compte tenu des coûts très élevés probables du démantèlement, de la situation financière lourdement déficitaire d'EDF et de la saturation des sites de stockage des déchets nucléaires de faible activité, la France sera prochainement dans l'incapacité d'entreposer les milliers d'assemblages de combustibles irradiés dans les piscines de désactivation et dans l'usine de La Hague qui seront saturées avant 2030, ainsi que les dizaines de millions de tonnes de déchets radioactifs issus du démantèlement des réacteurs nucléaires<sup>10</sup>. La question se pose également en Allemagne, confrontée au même problème après sa décision de sortie du nucléaire en 2022 : le choix entre démantèlement complet et démantèlement partiel des parties non radioactives, avec maintien in situ pendant des siècles des cuves, des GV et des circuits primaires non démantelés jusqu'à disparition des principaux radioéléments, est sur la table.

Le démantèlement complet des deux réacteurs de la CNPE de Fessenheim sera à cet égard un des éléments de la réponse : la proposition d'EDF de créer un technocentre de démantèlement des réacteurs nucléaires et des générateurs de vapeur sur le site-même de la CNPE de Fessenheim doit être analysée dans ce contexte.<sup>11</sup>

Pendant les décennies couvrant le démantèlement, environ 300 au moins des *emplois directs* de la centrale seront à maintenir dans ce cadre pour les opérations de maintenance, de sécurité, de gestion et de surveillance des barres de combustibles, de suivi des opérations de déconstruction des parties non nucléaires accompagnées par plusieurs centaines d'emplois d'entreprises extérieures.

De par leur statut de salariés d'une entreprise publique, les autres emplois directs sont garantis et seront bien entendus redistribués dans les autres centres de production d'EDF, mais

pourraient aussi être redéployés localement sur la base du volontariat vers les entreprises publiques de distribution électrique, en particulier dans le renforcement des interconnexions THT, dans la mise en place des réseaux électriques intelligents et des stockages électrochimiques, dans la remise en service de la STEP du Lac Blanc-Lac Noir et dans la mise en place d'autres installations de petite hydroélectricité, de cogénération renouvelable dans la région.

Quant aux *emplois indirects*, les intérimaires de l'industrie nucléaire auront des perspectives d'emploi de longue durée dans les arrêts, déclassements et démantèlements à venir des réacteurs nucléaires en France (à commencer par ceux de Fessenheim).

Par ailleurs, de nombreux emplois nouveaux seront créés dans la mise en place des nouveaux systèmes énergétiques (voir plus loin), et de nombreuses formations seront à mettre en place pour créer ces nouveaux emplois.

Les emplois tertiaires induits par ces nouvelles activités énergétiques seront non seulement plus nombreux que ceux qu'induisait la CNPE de Fessenheim (d'après toutes les expériences de conversion menées outre-Rhin et les projections socio-économiques nombreuses publiées par des organismes publics et des instituts de recherche français et européens)<sup>12,13</sup>, mais de plus, ils seront moins fluctuants (pas de dépendance aux opérations d'arrêts annuels programmés pour changement de combustible et des visites décennales), plus diversifiés et répartis dans au moins tout le bassin d'emploi du canton et du département haut-rhinois, voire de la région alsacienne où seront construits, mis en œuvre et gérés les nouveaux systèmes énergétiques renouvelables intelligents.

Dans un souci prioritaire de sécurité du site, un nombre important de travaux de **renforcement des digues du Grand Canal d'Alsace** devront être impérativement menés préalablement à toute mise en œuvre des opérations de démantèlement et de construction des nouvelles unités de production énergétique, des nouveaux centres de recherche et de la zone d'activités industrielles proposés dans ce mémoire.

En effet, les dernières investigations par métrologie électro-résistive<sup>14</sup> ayant révélé plusieurs anomalies électriques dans les profils de conductivité de la digue, je rejoins les conclusions des auteurs du rapport quant à la nécessité d'investigations supplémentaires par forages (mais également, je le pense et je le propose, par une campagne acoustique et/ou vibro-sismique tout le long du canal amont et aval sur 20 km, seule à même de connaître la structure mécanique réelle de la digue et du sous-sol) pour déterminer l'état réel de la digue ouest de part et d'autre de la CNPE Fessenheim. Les conclusions satisfaites d'EDF sur ce sujet semblent particulièrement évasives et édulcorées<sup>15</sup>.

Il conviendrait probablement au contraire, après inspection tomographique du béton de la digue et au vu de la campagne vibro-sismique, et après modélisation du comportement mécanique de l'ensemble {digue, sous-sol} à diverses secousses sismiques-types<sup>16</sup>, de renforcer mécaniquement la digue par ferrailage, étayage et coulage de béton pour s'assurer de sa résistance mécanique en cas de séisme majoré de sécurité. L'enjeu est de prévenir toute rupture, tout effondrement local de la digue sur toute sa longueur, sur une distance de 10 km en amont et de 5 à 10 km en aval de la CNPE Fessenheim.

## 1.2. Une déconstruction du réacteur n° 1 pour la recherche sur le vieillissement des matériaux nucléaires

Les opérations de démantèlement des parties nucléaires irradiées du circuit primaire et de ses organes annexes, mais aussi du circuit secondaire (générateurs de vapeur), ne pourront

débuter qu'après une période de désactivation de plusieurs années, à déterminer avec les organismes de tutelle (ASN, IRSN).

Les deux réacteurs nucléaires de Fessenheim étant les plus anciens du parc PWR (REP) construit en France, **il paraît essentiel de ne pas procéder à un démantèlement industriel à but de standardisation pour la cuve du réacteur n°1 (la plus ancienne et la plus irradiée) et son circuit primaire, mais de mettre en œuvre une procédure de démantèlement scientifique sélectif de ces éléments, à but de recherche et d'investigations approfondies sur le vieillissement sous irradiation et de fatigue thermique des aciers et des revêtements, sur l'extension et l'évolution des fissures sous revêtement dans les diverses zones (viroles, soudures, boulons, couvercle) irradiées par le flux neutronique.**

À cet effet, il sera particulièrement intéressant sur le plan scientifique de mettre en place un **programme de recherche sur le vieillissement des aciers, mené par un consortium européen de laboratoires de recherche** (pour la France : CNRS, CEA, UHA, Unistra, UBFC, FEMTO-ST, etc. ; pour l'Allemagne : Fraunhofer-Institut, Max-Planck-Institut, etc. ; pour la Suisse : Unige, etc.).

Ce programme de recherche (*cf. Annexe A*) ciblé sur le vieillissement des aciers sous fluence des cuves, couvercles et circuits primaires des réacteurs nucléaires commerciaux, tel qu'il est proposé ici, diffère très notablement de l'idée plutôt floue avancée par la Région Grand Est d'un « *centre mondial de référence dans le domaine des énergies* » avec un volet dédié au démantèlement du nucléaire, une forme de superstructure lourde et coûteuse qui mobiliserait de manière très imprécise 100 à 150 chercheurs « de haut niveau » sur le démantèlement des centrales nucléaires et le développement d'industries « décarbonées » (mot aux contours peu rigoureux et peu compatible avec la production globale de gaz à effet de serre par l'ensemble de la filière nucléaire, de la mine au démantèlement et aux déchets nucléaires) pour produire des « innovations » de TRE 3 à 8 dans tous ces domaines autour de Fessenheim.

Etant donnée la concurrence entre les industriels européens, américains, russes et chinois sur l'actuel et futur marché du démantèlement des réacteurs nucléaires qui arrivent déjà en fin de vie, il est difficile de défendre la création d'un tel centre « mondial » de démantèlement des centrales nucléaires et d'y injecter de l'argent public français. Il semble plus réaliste de séparer clairement les opérations de démantèlement à caractère commercial et les recherches fondamentales et appliquées sur le vieillissement des matériaux sous irradiation. Ceci impose de laisser EDF investir elle-même dans des installations de démantèlement à vocation de pilote commercial sous le contrôle public de l'Etat, des experts et des associations de protection environnementale français (quitte pour EDF à engager avec certains centres de recherche des contrats de R&D sur certaines techniques spécifiques de découpage, de traitement de surface, de mesures pour améliorer l'efficacité et la protection radiologique des opérations de démantèlement), et de privilégier le financement des organismes de recherche universitaire et nucléaire français sur le programme de recherche précis et fléché sur le vieillissement des réacteurs commerciaux sous irradiation neutronique, proposé dans cette contribution.

### 1.3. Un démantèlement commercial exemplaire du réacteur n°2

Par ailleurs, **le démantèlement du réacteur n°2 doit pouvoir servir de référence industrielle pour le démantèlement des réacteurs PWR (REP) des paliers CP0 et CP1 au moins**, et pour la définition d'un protocole de démantèlement nucléaire commercial français, concurrentiel

et exportable sur le marché international émergent du démantèlement de nombreux réacteurs nucléaires dans le monde, ayant atteint ou dépassé les 40 ans de fonctionnement<sup>17</sup>.

En particulier, il paraît essentiel que les installations créées (sas de décontamination, zones de découpe, silos d'entreposage des éléments découpés et radioactifs, zones radiologiques vertes) soient exemplaires et hautement sécurisées (bunkers, filtres, alimentations en eau et électricité, renouvellement d'air), et que les protocoles de démantèlement soient précisés, ajustés et appliqués en symbiose avec l'ensemble des organismes de recherche et de surveillance nucléaires, et suivis par une commission d'experts indépendants et de représentants de la CLIS, la transparence n'étant pas incompatible avec la qualité et les objectifs commerciaux recherchés, bien au contraire.

Une période de quelques années de décroissance radioactive des radioéléments à courte période mais haute activité, induits dans les aciers par la fluence neutronique, devrait être envisagée et calibrée avant les opérations de découpage pour éviter les irradiations inutiles.

La structure de démantèlement commercial proposée ici est plus ambitieuse que le seul « *technocentre de démantèlement des grosses pièces métalliques, notamment les générateurs de vapeur* » envisagé par EDF, au sens où elle doit instaurer un protocole et un suivi du premier démantèlement irréprochable à vocation commerciale pour EDF.

Il faut en effet être extrêmement prudent sur les risques de contamination radioactive que pourrait induire l'installation à Fessenheim d'un tel technocentre à vocation nationale – voire internationale – de découpe à la chaîne de centaines de générateurs de vapeur fortement contaminés, de dizaines de cuves et de couvercles de réacteurs nucléaires fortement irradiés, de centaines de kilomètres de tuyaux de circuits primaires fortement radioactifs dans une usine installée juste au-dessus de la plus grande nappe phréatique d'Europe, sujette à des séismes majeurs, à 9 m en dessous du niveau du Canal d'Alsace dont on sait l'état actuel de vétusté. Il serait déraisonnable de créer à Fessenheim un tel technocentre (qui rencontre par ailleurs l'opposition des autorités et parlementaires allemands et suisses et des associations de protection de l'environnement en Alsace) et préférable de concentrer les investissements conjoints d'EDF et d'éventuels partenaires allemands et suisses sur le seul démantèlement commercial du réacteur n°2 (le réacteur n°1 devant suivre une procédure de développement scientifique différente, cf. 1.2).

Des méthodes systématiques de décontamination approfondie (jet d'eau, décapage laser, électroérosion, etc.) des surfaces des pièces métalliques et non métalliques issues de la déconstruction et du découpage du réacteur n°2 devraient pouvoir être menées *in-situ* dans des installations spécifiques à haute sécurité radiologique (sous dépression et filtrage des contaminants radioactifs) spécialement construites, permettant la réduction ultérieure du volume des déchets par fusion sélective, compactage des pièces décontaminées. La faisabilité d'un recyclage après décontamination complète des déchets métalliques et non métalliques faiblement contaminés issus du démantèlement dans les circuits commerciaux pourrait ainsi être testée au cours de ce premier démantèlement commercial, et éventuellement validée en toute transparence par l'IRSN et l'ASN sous contrôle de la CLIS, des associations environnementalistes et de scientifiques indépendants. L'objectif n'est pas ici de créer un technocentre à vocation nationale et encore moins européenne, mais d'étudier scientifiquement la faisabilité d'une réduction sur place du volume des déchets de faible activité issus du démantèlement dans chaque centrale nucléaire à démanteler afin de limiter aux seuls filtres et outils contaminés le transport de déchets radioactifs vers un centre de stockage adapté. En aucun cas, cette unité de test de traitement local ne doit servir à traiter les déchets d'autres sites nucléaires et n'a vocation à servir de tête de pont pour un futur tech-

nocentre français ou européen. Il s'agirait tout au plus d'étudier la faisabilité technico-économique d'une unité de traitement local des pièces issus du démantèlement en vue de sa validation éventuelle pour être installée ultérieurement dans chacune des 19 centrales à démanteler dans le futur proche.

Un retour d'expérience à échelle 1 doit d'abord être attendu de la structure de démantèlement commercial proposée dans cette contribution avant d'en tirer toutes les conséquences pour la mise en place ou non d'un centre de démantèlement national futur. Il pourrait en effet apparaître préférable à l'avenir de démanteler chaque réacteur nucléaire *in-situ* après le retour d'expérience de Fessenheim (et dans une moindre mesure, du petit réacteur de 305 MW de Chooz-A) et la mise au point de techniques et de protocoles transportables efficaces et irréfutables sur le plan de la radioprotection et de la contamination radioactive, plutôt que de risquer de concentrer en un seul site toutes les opérations et de transporter des pièces hautement radioactives à travers toute la France, alors que les démantèlements vont devoir s'accélérer au rythme de plusieurs réacteurs par an dans les 30 années à venir en France. C'est d'ailleurs la stratégie de démantèlement *in-situ* que l'Allemagne privilégie.

Le financement de ce premier démantèlement d'un réacteur nucléaire industriel, justifié par l'état de vétusté de celui-ci et les risques que la poursuite de son fonctionnement ferait encourir<sup>18</sup>, doit être lui-même exemplaire et entièrement pris en charge par l'exploitant EDF dans le respect des règles de concurrence européennes et internationales<sup>19</sup>, comme c'est le cas pour toutes les autres compagnies électriques européennes exploitant des réacteurs nucléaires<sup>20</sup>. Ce serait une entorse aux règles de la concurrence européenne que l'Etat français finance lui-même ces démantèlements, au prix d'un alourdissement important de son endettement.

Il serait au contraire moralement et politiquement soutenable de considérer que cette indemnisation n'a aucune justification légale ni économique, et que son montant doit intégralement être investi dans la transition énergétique des territoires haut-rhinois, belfortains et vosgiens autour de Fessenheim.

## 2. De nouvelles structures énergétiques locales pour l'avenir

Depuis 1977, le territoire autour de Fessenheim est resté totalement dépendant des activités liées à la centrale nucléaire, tant financièrement qu'économiquement et socialement. L'absence d'une réelle diversification des emplois dans d'autres domaines économiques, le manque d'esprit d'initiative et de responsabilité prospective de la part des édiles locaux, municipaux, départementaux et régionaux pèse aujourd'hui sur ce territoire, alors que la perspective évidente et annoncée de la fermeture de la plus ancienne centrale nucléaire française aurait dû susciter un débordement d'initiatives, d'imagination et de recherche pour préparer la relève et développer les nouveaux emplois.

Cette frilosité et ce conservatisme des élus et des syndicats, arc-boutés sur la croyance en une hypothétique et irréaliste pérennité de la centrale nucléaire (et des recettes fiscales afférentes), davantage mobilisés pour empêcher sa fermeture inéluctable que pour explorer les solutions d'avenir, ont longtemps bloqué toute perspective de réflexion collective et faussé le débat démocratique.

Il est temps de relever le défi et d'amorcer un véritable dialogue sans *a priori*, sans anathèmes ni postures idéologiques conservatives et rétrogrades, dans le respect et l'écoute de chacun et de chacune.

## 2.1. Une sobriété énergétique structurelle prioritaire

Hormis les investissements nécessaires en direction des transports doux et à côté des investissements prévus dans l'efficacité (réseaux intelligents couplés), qui sont détaillés dans les paragraphes suivants, il est indispensable de privilégier la sobriété énergétique dans toute son étendue possible et dans tous les secteurs de l'économie, pour rendre possible et efficace la transition de la région de l'ancien système dominé par les gaspillages (d'énergie, de matériaux, d'aliments), l'individualisme, le consumérisme, les pollutions, les émissions de GES (gaz à effet de serre), les importations, les risques, les dégradations écologiques, vers un système écologique et renouvelable efficace et moderne. Un ensemble d'axes et d'actions de sobriété doivent être engagés en priorité à cet effet :

- *un plan d'isolation thermique et d'élimination du chauffage électrique* dans les logements collectifs, les bâtiments administratifs et les bâtiments tertiaires (bureaux et bâtiments commerciaux) accompagné par un plan financier d'investissement public de migration des chauffages électriques prioritairement vers les réseaux de chaleur, et par une aide financière à la substitution du chauffage électrique par un chauffage central solaire/pompe à chaleur eau-eau pour les habitats non raccordables à un réseau de chauffage avant l'horizon 2030 ;
- *la priorité aux circuits courts* pour l'alimentation humaine et l'approvisionnement en biomasse locale des chaufferies et des centrales de cogénération connectées aux réseaux de chaleur : les aides financières à l'agriculture, aux commerces et aux communes doivent être conditionnées à cet objectif ;
- *la sobriété lumineuse* : suppression des éclairages inutiles (éclairage nocturnes des magasins, des routes et autoroutes) ; division par 4 au moins des éclairages urbains ; interdiction des publicités lumineuses ; obligation de mise en place de l'éclairage efficace par led à spectre solaire, haut rendement et IRC élevé dans les bâtiments publics. Ces dispositions doivent être suivies et vérifiées par un service technique départemental, appuyé par un dispositif de bonus-malus ad-hoc ;
- *la primauté des déplacements sobres actifs* (vélo, marche) : des plans locaux de réduction par trois au moins des espaces automobiles, de généralisation des pistes cyclables, d'aménagement des trottoirs, des rues piétonnes et des parcs automobiles urbains extérieurs dans les agglomérations sont à élaborer localement démocratiquement avec les associations cyclistes, environnementalistes, commerçantes, touristiques, et aidés financièrement sur des critères stricts et vérifiés de sobriété, en cohérence avec les schémas de développement des transports en commun ;
- *le remplacement de la traction à moteur thermique par la traction électrique (et animale dans certains secteurs)* : un plan de développement du véhicule électrique est à mettre en place dès maintenant (cf. C.4). Une attention particulière est à apporter (conseils, aide financière) aux communes rurales pour remplacer certains véhicules utilitaires (arrosage, transport de biomasse, transport scolaire, nettoyage urbain,

etc.) par des véhicules électriques aménagés et par des remorques adaptées à la traction chevaline ;

- *l'extension de la limitation des vitesses à 30 km/h dans les zones urbaines denses en coordination avec l'extension des voies cyclables et piétonnes ;*
- *le maintien à 80 km/h de la limitation de la vitesse de circulation des véhicules sur les routes départementales à 2 voies ; limitation à 100 km/h de la vitesse de circulation des véhicules sur les voies rapides urbaines, rocade, contournements ; limitation à 120 km/h sur les autoroutes d'Alsace et du Territoire de Belfort ;*
- *l'élimination des consommations de veille des appareils électroniques et des consommations inutiles (éclairage, informatique) doit faire l'objet d'incitations, d'informations publiques et d'accords techniques avec les fournisseurs ;*
- *l'élimination des emballages inutiles, des sacs plastiques non bio-sourcés et non biodégradables, l'encouragement à la vente en vrac dans les commerces : ils doivent être rendus systématiques et soumis un régime de bonus-malus dissuasif ;*
- *la généralisation de la collecte et du recyclage des appareils et matériaux : soutien à la création de plateformes de tri sélectif et récupération sur tout le territoire ; soutien à l'installation d'entreprises de recyclage local du verre, du papier, des piles, des plastiques, des produits chimiques, des métaux ;*
- *le renforcement de l'utilisation du bois de construction dans tout nouveau bâtiment secondaire, tertiaire et industriel : mise en place d'un accord entre les départements, les communes, les architectes, les autres acteurs de la filière bois d'œuvre (scieries, menuiseries-charpenteries, forestiers, entreprises de transformation du bois d'œuvre, centres de formation du bois, lycées techniques, écoles d'ingénieurs, bureaux d'étude thermique et énergétique) et les entreprises du bâtiment pour l'utilisation obligatoire du bois d'œuvre dans la construction de tout nouveau bâtiment en substitution du béton et du parpaing très énergivores dans la structure des enveloppes ;*
- *récupération des eaux de pluie, de ruissellement : la préservation des ressources phréatiques est une préoccupation majeure pour les décennies à venir et doit être systématiquement intégrée dans tout nouvel aménagement des sols, en particulier dans les PLU mais également dans les cahiers de charge de tous les nouveaux bâtiments et maisons individuelles (places de stationnement perméables à ombrières solaires, voies d'accès, récupération individuelle et collective des eaux de pluies pour l'arrosage, les eaux sanitaires, le nettoyage ; restriction de l'ouverture des stations de lavage automobile ; etc.) ;*
- *incitation à l'économie et à l'optimisation de l'eau d'arrosage auprès des agriculteurs, des communes et des particuliers, visant à réduire le recours à l'arrosage de jour par aspersion et à privilégier le goutte-à-goutte, les méthodes culturales sobres en eau (agroforesterie, mulchage de trèfle, luzerne et autres espèces azotées ; branchage raméal fractionné, etc.), à favoriser la culture de plantes, légumineuses et céréales plus sobres en eau plus adaptées au climat local, moins énergivores (aide au remplacement du maïs par le soja, le quinoa, les lentilles, le sarrasin, le tournesol, le colza, le chanvre industriel, etc.), à diversifier et augmenter la production maraîchère (en particulier par une aide à la culture des légumes et fruits anciens plus variés, plus résistants, plus sobres, et à l'installation de serres solaires et géothermales) ;*

- encouragement financier à *l'assainissement naturel des eaux usées par lagunage et par méthanisation* ;
- *éducation permanente à la sobriété* (familles, écoles, collèges, lycées, universités, écoles d'ingénieurs, CE des entreprises).

## 2.2. Vers un système énergétique renouvelable intelligent et décentralisé (RERI)

De nombreuses études scientifiques européennes et mondiales démontrent le rôle prépondérant que vont avoir les *réseaux intelligents couplés* d'électricité, de gaz, de chaleur, de froid pour l'injection efficace et massive, la conversion et le stockage des énergies renouvelables, dans la perspective mondiale de la lutte contre le réchauffement climatique, contre les risques terroristes et de dissémination nucléaire, et du développement soutenable et équitable sur tous les continents.

Si le Danemark est en pointe dans ce domaine<sup>21</sup>, la France reste très en retard dans la recherche sur ces réseaux couplés comme dans leur mise en œuvre. Cependant, la présence de grands laboratoires de recherche aux compétences multiples (énergies renouvelables, réseaux électriques, hydrogène, biochimie, biologie, agroécologie, chimie, électrochimie, matériaux, automatismes, informatique) dans un cercle de 80 km autour de Fessenheim (Strasbourg, Colmar, Mulhouse, Belfort, Fribourg, Bâle) constitue à cet égard un atout considérable pour contribuer à la création d'un centre de recherche et de développement pour la création d'un SERI (système énergétique renouvelable intelligent, ou *Smart Energy System*). Il s'agit d'articuler le projet général autour des trois piliers suivants :

### 2.2.1. Un Centre d'Études et de Recherche sur les SERI

Les *objectifs* de ce CERSERI sont la conception, l'aide à la création et le suivi d'un réseau local de production d'énergies renouvelables (électricité, gaz, chaleur, froid) à l'échelle cantonale, couvrant les besoins d'un ensemble de communautés de communes suffisamment large pour combiner les sources de production renouvelables de flux (solaire photovoltaïque et thermique, vent, petite et grande hydroélectricité) et de stock (biomasse, biogaz, géothermie) ; les conversions entre vecteurs d'énergie (électricité → gaz ; électricité → chaleur thermodynamique ; gaz → électricité) ; les réseaux de distribution intelligents couplés (électriques, gaz, chaleur, froid) ; les stockages énergétiques locaux de courte durée (heure, journée), de moyenne durée (semaine, mois) et de longue durée (saisons, année).

La *méthodologie* du CERSERI doit être basée sur la coopération entre laboratoires français, allemands et suisses, avec construction d'un bâtiment à énergie positive dédié à la recherche sur le système énergétique renouvelable intelligent (SERI, ou SES en anglais), propriété de la Région Grand Est, hébergeant une ou plusieurs équipes de chercheurs, d'ingénieurs et de techniciens de ces laboratoires, ainsi que des doctorants travaillant à la conception et la gestion du SERI. Les universitaires, les formateurs, les industriels, les installateurs, les agriculteurs, les forestiers des régions environnantes seront étroitement associés lors de la conception et bien entendu de la réalisation du SES, mais aussi du suivi de son fonctionnement et de ses performances énergétiques.

Le *lieu d'implantation* du CERSERI devrait logiquement être situé sur le lieu-même de l'expérimentation entre Colmar, Fribourg et Mulhouse, selon les dessertes ferroviaires (en particulier si la liaison Colmar –Breisach-am-Rhein est réalisée). À l'image du centre de pilo-

tage du Smart Grid de l'île de Bornholm danoise par le DTU (Université technologique du Danemark à Risø)<sup>22</sup>, il pourrait être déportable sur un site universitaire décentré ;

### *2.2.2. Le Système Énergétique Renouvelable Intelligent*

Les SERI (SES en anglais) sont fondés sur une architecture intégrée et décentralisée complète dont l'efficacité est garantie par l'optimisation de sa structure elle-même<sup>23</sup>. La structure détaillée du SERI proposée ici est détaillée dans l'*annexe B*.

Elle connecte de manière intelligente, efficace et totalement décentralisée l'ensemble des réseaux locaux d'électricité, de chaleur, de froid et de gaz de manière à injecter massivement l'ensemble des systèmes de production d'énergie renouvelable, de stockage-déstockage et de conversion en y intégrant de manière optimisée l'ensemble des producteurs-consommateurs, et éliminer le recours à des systèmes d'appoint fossiles coûteux et redondants.

### *2.2.3. Un pôle de formation professionnelle pour la transition énergétique*

La création des emplois nécessaires à la réalisation du projet requiert la mise en place de formations professionnelles particulièrement pointues, solides et évolutives, tant sur le plan scientifique (ingénierie, recherche) que technique (montage, fonctionnement, maintenance, démontage, remise à niveau), juridique et financière.

La mise sur pied d'un **pôle spécifique de formation professionnelle sur les réseaux énergétiques renouvelables couplés** est donc indispensable. Elle doit pouvoir être menée par les organismes universitaires et professionnels en pointe dans ces domaines en France, Allemagne et Suisse, forts de leur expérience dans ces domaines.

Elle doit regrouper des moyens existants pour les formations déjà éprouvées sur les installations photovoltaïques, solaires thermiques, éoliennes, géothermiques et à biomasses ; sur les réseaux de chaleur, les réseaux de gaz, de froid et d'électricité, et des moyens nouveaux et spécifiques liés au couplage et au pilotage intelligent et optimisé des réseaux. Elle doit aussi délivrer des certifications professionnelles de haute qualification HQuali-sol, HQuali-PV, etc. basées sur la vérification d'aptitude et de conformité pour les entreprises artisanales d'installations solaires, éoliennes, biomassiques, géothermiques et pour les installateurs des futurs réseaux couplés locaux avec stockage, etc.

En outre, ce pôle a vocation à être pérenne car il doit pouvoir évoluer constamment et développer les formations en fonction de l'évolution technologique et économique de la transition énergétique locale, nationale et internationale, des besoins en main d'œuvre, etc.

De plus, des actions pédagogiques fortes et permanentes doivent valoriser les savoir-faire acquis dans le centre de recherche et dans la gestion du réseau énergétique renouvelable intelligent, qui doivent percoler dans le tissu des formations initiales (écoles primaires, collèges, lycées, universités, écoles d'ingénieurs), dans la société civile (grand public), dans les administrations (personnel communal et administratif), dans les associations (lutte contre la précarité énergétique, aide aux familles). Des stages de formation pour les enseignants, pour les élèves et les étudiants, pour les personnels administratifs et techniques publics et privés doivent être organisés par ce pôle pour diffuser les connaissances, les expériences acquises et les bonnes pratiques.

### 2.3. Mise en place du SERI

- La création des réseaux de chaleur, de froid, de gaz couplés au réseau local de transport électrique moyenne tension doit être menée *parallèlement* à l'installation des unités de production renouvelable décrites précédemment pour garantir la cohérence de la transition énergétique renouvelable locale sans énergies fossiles ni fissiles.
- La gestion intelligente des couplages des réseaux locaux doit être effectuée par des centres de régulation et de contrôle automatique à supervision informatique, pouvant être pilotés et coordonnés à distance en mode Recherche & Développement par le centre de recherche CERSERI sur les réseaux énergétiques renouvelables intelligents.
- Les **flux de données** issus de l'ensemble de ces installations doivent être gérés et stockés dans des centres de stockage et de traitement de données connectés au réseau de chauffage local (le refroidissement des ordinateurs de stockage doit être fait par ce réseau pour récupérer la chaleur dégagée) et traités par le CERSERI.
- **La transparence doit être au cœur du contrôle citoyen et du fonctionnement efficace du système énergétique** : la gestion complète du projet, la coordination des acteurs, la mise en place matérielle du système, l'accès aux données doivent être publics (pôle de recherche), transparents (consultation libre et gratuite des données et des rapports par internet) et démocratiques (participation de tous les acteurs au conseil d'administration, au conseil technique et au conseil scientifique).

De même, le suivi financier, mené par les autorités publiques et les élus, doit être transparent. En particulier, le suivi de la mise en place des équipements, des réseaux, des aménagements, des mesures de formation et d'éducation, des débats et discussions politiques, de la démocratie énergétique locale, etc. doit pouvoir être étudié au plus près du terrain par l'Université à travers le CERSERI pour pouvoir en tirer tous les enseignements politiques, économiques et scientifiques nécessaires aux autres transitions énergétiques en France et en Europe.

L'ensemble des données énergétiques (productions, consommations, flux, conversions) des grandes échelles (départements, cantons, métropoles ; années ; mois) jusqu'aux échelles les plus fines possibles (villages, quartiers, immeubles, bâtiments industriels ou tertiaires, bâtiments agricoles ; jours, heures) doit être accessible facilement et gratuitement au grand public et aux chercheurs sur un site internet dédié et sécurisé, et constamment mis à jour. L'usage de compteurs intelligents pour l'électricité, la chaleur, le froid et le gaz est à cet égard un atout considérable pour le suivi, la maîtrise et le contrôle de la structure énergétique, tant à l'échelle locale qu'à l'échelle nationale et européenne.

- La structure de pilotage doit être dynamique et réactive pour éviter toute bureaucratie, ce qui rend la planification impérative et impose le contrôle régulier des opérations des maîtres d'œuvre par le maître d'ouvrage (consortium public à définir).

### 2.4. Mise en place des réseaux de transport écologiques

Le transport des personnes et des marchandises, qui représente 20% de la consommation énergétique et émet autant de gaz à effet de serre que le secteur résidentiel en Alsace, reste le secteur dans lequel il est le plus difficile de faire baisser les émissions de GES (25% du total) et fait figure de parent pauvre dans les scénarii régionaux officiels<sup>24</sup>.

C'est pourtant un secteur sur lequel la démocratie locale peut agir efficacement dans les grandes agglomérations comme dans les communes rurales.

La reconversion des territoires autour de Fessenheim, du Haut-Rhin et du Territoire de Belfort peut fortement infléchir les consommations et les émissions de GES générées par les transports individuels, professionnels et collectifs grâce à une planification intelligente et démocratiquement débattue des aides et investissements publics aux échelles communales et intercommunales d'abord, mais également à l'échelle régionale et transfrontalière. Pour être efficace et réduire rapidement les émissions de GES afférentes, les axes structurels prioritaires à privilégier sont les suivants :

- **réseaux de pistes cyclables urbaines et interurbaines** : un fond public local doit être créé et abondé pour l'investissement public régulier et massif dans la création d'un réseau dense et efficace de pistes cyclables dans et entre les grandes agglomérations du Haut-Rhin et du Territoire de Belfort pour permettre d'atteindre rapidement un taux d'utilisation quotidien du vélo (pour se rendre au travail, faire ses courses, conduire ses enfants, pour les loisirs) d'au moins 20% en 2025, 40% en 2035 et 60% en 2050 dans les grandes agglomérations, faisant reculer d'autant l'utilisation de la voiture individuelle et les nuisances associées (encombrement, bruit, pollutions, accidents, embouteillages). La diminution drastique de l'accès des voitures et des camions aux centres-villes qui en résulte est en outre un facteur d'augmentation de la sécurité des citoyens contre les tentatives d'attentats terroristes, les actions criminelles par véhicules-béliers et la délinquance routière. L'augmentation des activités touristiques et commerciales résultant de cet équipement permet de rentabiliser fortement et à court terme les investissements consentis<sup>25</sup>. Toutes les rues doivent restreindre rapidement l'espace de circulation automobile de l'ordre de 50 à 66% pour créer les pistes et couloirs cyclables protégés, en réaménageant les sens de circulation et en étendant les secteurs interdits aux véhicules. La priorité de circulation doit être le plus possible transférée des véhicules vers les vélos grâce à des feux de circulation vélo cadencés à la vitesse moyenne des vélos de 20 km/h environ pour garantir la supériorité et l'efficacité du transport cycliste urbain. Des **autoroutes cyclables** doivent être créées et financées dans toutes les grandes agglomérations, et des pistes cyclables à deux voies créées entre toutes les communes, selon un plan concerté avec les habitants, leurs élus et les associations de promotion des transports doux ;
- multiplication des offres de transport public local par la **création de nouvelles lignes de chemin de fer locales** et la **densification des TER, tram-trains et navettes ferroviaires interurbaines** permettant de relier les grandes agglomérations du Haut-Rhin et du Territoire de Belfort, ainsi qu'entre les communes des deux rives du Rhin (liaisons Colmar-Breisach, Mulhouse-Müllheim), et par la **création de réseaux de tramway ou de BHNS** (bus à haut niveau de service) et l'**extension des réseaux de tramway existants**. *Une politique d'abonnement incitative et de réduction de prix est nettement préférable à la gratuité dont les conséquences (diminution des déplacements cyclistes et pédestres, coût rétroactifs) s'avèrent négatives dans les villes qui le pratiquent ;*
- aide à la conversion intégrale des **bus de transport de voyageurs, de travailleurs et d'élèves** à l'électricité, au biométhane (et à l'hydrogène renouvelable par pile à combustibles quand il sera rentable) ;

- renforcement des primes régionales ou locales aux salariés abandonnant la voiture au profit du vélo pour les déplacements professionnels ;
- aide à la création d'une **taxe poids lourds (vignette proportionnelle au PTR)** pour le financement des infrastructures de ferroutage, de tramways et de navettes ferroviaires: cette proposition relève des échelons régional, national et européen. En attendant une décision forte à l'échelle nationale ou européenne, l'expérimentation d'une taxe à l'échelle locale (Alsace, Territoire de Belfort) peut être pertinente et agir comme levier pour une rapide extension à la France entière puis à l'Europe, en concertation avec nos voisins allemands et suisses. Le montant de la taxe poids lourds doit être intégralement investi dans la transition énergétique locale des territoires concernés et gérée en toute transparence par les élus, les Conseils Economiques et Sociaux, les centres régionaux de l'Ademe et les associations citoyennes et professionnelles des énergies renouvelables, de la sobriété énergétique (rénovation thermique), de la mobilité écologique, de l'écologie et de la lutte contre le changement climatique ;
- mise en place d'une **prime importante et dégressive en fonction de la puissance du véhicule et du revenu, pour l'achat de voitures électriques sobres** (puissance administrative *maximale* de 4 CV), en remplacement de voitures thermiques diesel et essence pour les particuliers, les collectivités, les administrations, les entreprises, avec **aide financière spécifique (suppression de taxes sur l'énergie) pour la connexion exclusive sur les fournisseurs d'électricité uniquement renouvelable ou les installations en autoconsommation électrique renouvelable**, afin de contribuer à la fin de la dépendance aux énergies fossiles et fissiles, chères, polluantes, dangereuses et importées. Les primes doivent être modulées en fonction des revenus des familles et des besoins en déplacement de manière à donner effectivement et rapidement aux habitants de zones rurales et éloignées des lieux de travail les moyens nécessaires de remplacer au plus vite leurs anciens véhicules s'ils dépassent les normes de pollution actuelles et à venir, sans endettement (PTZ + effacements de dette négociés) ;
- aide financière aux communes, aux entreprises, aux commerces, aux administrations à la **mise en place accélérée des bornes de recharges standard et rapides** aux normes internationales pour les véhicules électriques. Pour garantir l'origine renouvelable de ces bornes, l'aide doit être conditionnée à l'installation concomitante d'une installation de production d'électricité renouvelable photovoltaïque ou éolienne ou de cogénération biomasse couvrant au moins la puissance maximale délivrée par la station de recharge, ou à la connexion à un fournisseur d'électricité d'origine exclusivement renouvelable.

## 2.5. Transition énergétique et écologique de l'agriculture locale

Comme le secteur des transports, l'agriculture est un secteur économique très émetteur de gaz à effet de serre, mais il revêt en outre une importance capitale dans la vie et la santé des citoyens par la qualité de leur alimentation et par ses impacts écologiques.

La transition écologique et énergétique du secteur agricole est donc un enjeu tout aussi essentiel que celui du système de production, de transport et de consommation de l'énergie. Elle permet de réduire très rapidement et massivement les émissions des principaux gaz à effet de serre (méthane, protoxyde d'azote, dioxyde de carbone, gaz de réfrigération) en réduisant simultanément la pollution chimique des sols, des nappes phréatiques, des rivières et de l'air par les pesticides et les engrais.

- Les **aides agricoles à l'investissement et les PTZ** doivent être redirigées exclusivement et massivement vers les exploitations agricoles non industrielles (maraîchage, légumineuses, céréales, élevage), particulièrement vers celles en transition bio ou utilisant exclusivement les méthodes de **l'agriculture biologique, biodynamique, de la permaculture, de l'agroforesterie, de la technique BRF** (bois raméal fragmenté), avec assistance à l'élimination des pesticides, formation à la reconversion au bio obligatoires pour les installations en reconversion, remboursement intégral des certifications bio AB, aide à la diversification en légumineuses (trèfle, luzerne, pois, fèves, lentilles, soja), haricots, quinoa.
- Une aide publique spécifique doit être attribuée aux collectivités locales pour garantir un **approvisionnement 100% biologique et local des cantines et restaurants scolaires, avec priorité aux repas végétariens.**
- Des **aides financières à l'autonomie renouvelable des installations agricoles** (production photovoltaïque, la cogénération biogaz, la production solaire thermique pour le chauffage et l'eau chaude) doivent être proposées systématiquement pour le remplacement des chauffages au fioul ou électriques.
- Une aide supplémentaire doit être proposée pour la **conversion des tracteurs et véhicules diesel au biométhane**. Un encouragement aux techniques excluant le labour doit être systématiquement apporté aux agriculteurs, en finançant leur formation par les agriculteurs en bio pratiquant déjà ces techniques depuis plusieurs années.

### 3. Planification et financement de la transition énergétique

#### 3.1. Un pilotage démocratique et transparent de la transition

La garantie de réussite du projet repose autant sur la volonté de tous les acteurs économiques et politiques que sur son caractère démocratique et son acceptation populaire : l'ensemble de la société doit s'impliquer dans la transition énergétique et écologique. Les citoyens, les élus, les responsables économiques et industriels, les chercheurs, les industriels, les artisans, les agriculteurs, les professions libérales, les associations, les syndicats professionnels, les partis politiques, etc., tous doivent être à la fois les acteurs, les moteurs et les utilisateurs du système énergétique renouvelable intelligent mis en place.

La transparence des discussions, des données, des décisions est la condition nécessaire de sa réussite. Tous les rapports, tous les comptes-rendus de réunion des différentes instances politiques, économiques et scientifiques ayant pour objet l'élaboration et la mise en œuvre de la reconversion et de la transition énergétique et écologique des territoires autour de Fessenheim doivent être stockés numériquement, accessibles sans limitation par internet et mis à disposition de toute la population.

Ceci implique la tenue régulière de réunions de débats publics, le suivi de la mise en place de la reconversion et de la transition énergétique par une **Commission Locale d'Information Permanente sur la Transition Énergétique et Écologique** (CLIPTEE) ouverte et démocratique ; la création d'une base de données publique, informatisée et gratuite, complètes et accessibles à tous ; l'accès public facile et délocalisé aux informations et aux données pour la préparation des débats dans des locaux publics ouverts toute la journée et aisément accessibles en différents points du territoire ; l'instauration de bilans annuels publics permettant de corriger, d'améliorer et d'orienter les choix à mesure du développement du projet, sui-

vant le modèle scandinave des pratiques politiques de débat démocratique sur les aménagements des territoires.

### 3.2. S'insérer dans le contexte énergétique de départements transfrontaliers

La transition énergétique des départements du Haut-Rhin et du Territoire de Belfort est nécessairement conditionnée par l'actuelle structure du système énergétique actuel et impactée par l'évolution des interconnexions avec l'Allemagne et la Suisse et les transitions respectives de ces pays. Elle doit par conséquent pouvoir simultanément :

- *remplacer totalement la production électrique moyenne de la centrale nucléaire de Fessenheim, très largement inutile pour le département du Haut-Rhin, par une augmentation équivalente de l'efficacité, de la production d'énergies renouvelables et de la sobriété.* La CNPE de Fessenheim a produit en moyenne 10,5 TWh d'électricité (avec le rendement thermodynamique catastrophique habituel à tout réacteur REP de 33%), dont il faut rappeler que la part de 32,5% a été consommée de droit par ses co-proprétaires suisses et allemands et que la majeure partie du reste n'a pas été consommée en Alsace mais dirigée vers la région parisienne (la CNPE Fessenheim est connectée au poste de Méry-sur-Seine) et la Lorraine (poste de Houdreville). Sa fermeture ne pose donc pas de problème d'approvisionnement de la région Alsace en électricité, tout comme elle n'en a pas posé lors de l'arrêt du réacteur n°2 pendant presque deux ans (du 18 juillet 2016 au 12 mars 2018) ; il y aura tout au plus modification provisoire des flux sur les lignes THT, qui auront vocation à diminuer à mesure que l'installation et le couplage des réseaux énergétiques décentralisés renouvelables se mettra en place. L'électricité renouvelable (hydraulique, photovoltaïque, éolien, cogénération biomasse et géothermique) produite en Alsace étant de l'ordre de 9 TWh couvre déjà environ 70% de sa consommation annuelle, le reste étant pourvu une grande partie de l'année par les importations allemandes. Ce taux de couverture doit pouvoir atteindre 100% d'ici 2030 en éliminant les consommations électriques inutiles (chauffage électrique, éclairage), en développant fortement l'efficacité (moteurs électriques, éclairages led, cogénération), en déployant les EnR électriques locales (photovoltaïque, éolien, hydroélectricité, cogénération biogaz et biomasse, cogénération géothermique) et le couplage des réseaux énergétiques locaux de chaleur, de gaz, d'électricité et de froid ;
- *engager le déploiement des réseaux électriques décentralisés, couplé au déploiement simultané des réseaux de chauffage et de froid urbains, périurbains et communaux et des réseaux de gaz (méthane et hydrogène) :* ces déploiements doivent être impérativement effectués dès maintenant et la centrale nucléaire arrêtée au plus vite pour renforcer l'autonomie électrique et énergétique de la région et accroître la stabilité des réseaux électriques en Alsace avant l'échéance 2022 qui verra l'arrêt programmé du parc nucléaire allemand, la fermeture probable des deux plus vieux réacteurs nucléaires suisses de Beznau et Mühleberg.  
Plutôt que de renforcer immédiatement les liaisons THT de 400 kV nord-sud en Alsace, il serait plus judicieux d'enterrer complètement et d'étendre le réseau électrique décentralisé 225 kV connecté aux nouvelles installations de production électrique renouvelable de moyenne (> 100 kW) et grande puissance (> 1 MW), capable de distribuer, stocker et convertir localement l'électricité renouvelable en priorité avant tout échange sur le ré-

seau THT, quitte à étudier *par la suite* la nécessité ou non d'un éventuel doublement de la ligne THT entre les postes de Muhlbach (Haut-Rhin) et Scheer (Bas-Rhin).

Contrairement aux idées reçues et à la désinformation volontairement entretenue à ce sujet, les expériences du Danemark (et de l'Allemagne dans une moindre mesure) ont montré que le déploiement des énergies électriques renouvelables variables (éolien, photovoltaïque) a fortement contribué à la stabilisation du réseau électrique danois (et allemand) : le Danemark est aujourd'hui en tête des pays européens au plus faible SAIDI (System Average Interruption Duration Index, indice de durée moyenne d'interruption du système électrique)<sup>26</sup>. Ceci est dû à la fois au moindre recours au réseau THT grâce à la gestion décentralisée des réseaux 225 et 125 kV sur lesquels sont couplés les éoliennes, les centrales de cogénération et les parcs photovoltaïques, eux-mêmes connectés aux réseaux moyenne et basse tension locaux aux multiples producteurs-consommateurs ; à l'installation des dispositifs de stockage électrique (batteries électrochimiques, CAES, PEMFC, SOFC) et de régulation automatique de tension et de fréquence sur les parcs éoliens, photovoltaïques et aux postes électriques d'interconnexion (compensateurs synchrones, onduleurs pilotés, condensateurs déphaseurs), et à l'enterrement complet de tout le réseau THT danois.

L'installation rapide et simultanée des sites de production d'électricité renouvelable décentralisés de flux variable prédictible (éolien, photovoltaïque) et régulière (hydroélectrique, géothermique), de stock (biomasse, biogaz) et des dispositifs de stockage de masse (batteries, STEP du lac Noir) et de turbines rapides de cogénération biogaz-hydrogène sur les réseaux locaux 63 kV – 225 kV est la garantie de la sécurité de l'équilibre du réseau électrique.

Selon l'évolution du déploiement de cet ensemble, le renforcement d'une ligne électrique THT d'interconnexion Haut-Rhin (Sierentz) – Suisse (Lauffenburg, Aspard, Bassecourt) pourrait être éventuellement programmé à la fin du 1<sup>er</sup> quadriennal pour profiter du plan de développement des STEP de 5 GW en cours d'installation dans les Alpes suisses si les capacités de stockage du Haut-Rhin, des Vosges et du Territoire de Belfort devaient s'avérer insuffisantes.

### 3.3. Des chantiers prioritaires

Différents plans d'investissement et d'action sectorielle (formation, information, réglementation, modifications réglementaires) doivent être élaborés et coordonnés pour déployer la transition énergétique et écologique des territoires autour de Fessenheim au sens large. Pour garantir la cohérence, la coordination d'ensemble et l'efficacité de l'action publique et privée, ils devraient être dirigés et mis en œuvre par l'Ademe sous l'égide d'un **Conseil de Planification de la Transition Énergétique et Ecologique du Rhin Supérieur** (CPTEERS), composé des représentants parlementaires locaux français, allemands et suisses ; des représentants des communautés de communes locales des deux rives du Rhin ; des représentants des associations de l'énergie, des transports, de l'écologie ; des représentants de la recherche, de l'enseignement supérieur, de la formation professionnelle et de l'enseignement secondaire ; des représentants des entreprises de l'énergie, du transport et du bâtiment ; des représentants des syndicats de salariés et d'agriculteurs.

Ce Conseil de planification aura pour tâches essentielles :

- *l'élaboration simultanée et cohérente des plans quadriennaux d'investissement et d'action publique et privée* (voir ci-dessous), en coordination avec les TEPOS existants et à venir ;
- *le suivi technique et réglementaire de la mise en place de ces plans ;*
- *la mise en place de la Commission Locale d'Information Permanente sur la Transition Énergétique et Écologique (CLIPTEE) veillant au caractère démocratique des débats publics et à la transparence de l'information.*

Dans cette perspective, la présente contribution propose plusieurs plans d'investissement et d'action détaillés qui ont vocation à être repris, débattus, affinés et étendus par le CPRTEERS et les populations locales (cf. [Annexe C](#)).

### 3.4. Visibilité-diversité des financements

Le financement de la reconversion post-Fessenheim de la région ne peut être que multiple et constitue une première. À ce titre, il ne peut être qu'expérimental, mais il doit porter la volonté de l'État, des collectivités locales, des chercheurs, des associations, de tous les acteurs économiques locaux, mais également de l'Europe et plus particulièrement de l'Allemagne et la Suisse, partenaires de la CNPE de Fessenheim et de son démantèlement.

Outre les 250 M€ engagés sur 20 ans dans les appels d'offre photovoltaïque à hauteur de 300 MWc par le gouvernement français ; les 10 M€ d'abondement d'un fonds d'amorçage pour les premières « initiatives » aux contours beaucoup trop vagues, et les 20 M€ de soutien de l'État aux « 30 projets les plus avancés » (qu'il ne faudrait pas engager sans qu'une structure d'ensemble d'un plan cohérent de reconversion et de transition ne soit élaboré et validé au préalable par la structure idoine du **Conseil de Planification de la Transition Énergétique et Écologique du Rhin Supérieur** à créer) ; l'exemption de la commune de Fessenheim de sa contribution au fonds national de garantie individuelle des ressources des collectivités (FNGIR) ; la création d'une zone franche à statut économique et juridique spécial instituée dans le cadre du Traité d'Aix-la-Chapelle et gérée par une société d'économie mixte (dont il faut impérativement que l'activité s'insère dans un cadre de politique de transition énergétique planifiée dirigé et mis en œuvre par l'Ademe), le financement global de la reconversion et de la transition énergétique post-Fessenheim reste encore à définir : il n'existe pas pour le moment de plan de reconversion et de transition énergétique post-Fessenheim cohérent ni de structure adaptée et démocratique pour la porter, la diriger et coordonner son financement.

Les besoins financiers (subventions, aides à la formation professionnelle, aides structurelles, financements de projets de recherche, aides financières aux installations de production renouvelable, fonds d'État spécifiques, défiscalisation, prêts à taux zéro, tarifs d'achat, primes d'investissement et de remplacement) pour la mise en œuvre des plans et mesures exposés dans le présent projet dépassent le milliard d'euros sur le 1<sup>er</sup> quadriennal, et la poursuite du plan de transition doit pouvoir s'opérer dans la durée avec un premier horizon de moyen terme en 2035 puis un horizon de long terme en 2050.

L'indemnité de 490 M€ réclamée à l'Etat français par EDF pour la fermeture de la centrale nucléaire de Fessenheim (dont la vétusté, le fonctionnement en défaut de sécurité depuis sa construction et depuis l'utilisation d'un GV défectueux et frauduleux, et le taux cumulé de pannes le plus élevé de tout le parc électronucléaire ne peuvent décemment pas justifier cette surcharge des contribuables – particulièrement après la révélation par le récent rap-

port de la Cour des Comptes du gaspillage interne d'argent par le comité d'entreprise, les avantages en nature et les avantages sociaux hors norme des personnels d'EDF) n'a logiquement pas lieu d'être versée à EDF, mais un montant au moins équivalent devrait être attribué par l'État au démarrage du plan de reconversion et de transition post-Fessenheim pour le 1<sup>er</sup> quadriennal.

Le démantèlement commercial proprement dit du réacteur n°2, tel que proposé dans la [section 1.3](#), doit être financé par EDF elle-même, comme ce sera le cas pour les constructeurs allemands avec leurs propres centrales nucléaires : l'argent public ne saurait être une nouvelle fois utilisé par EDF pour masquer une partie des coûts commerciaux réels d'un démantèlement commercial de réacteur REP de 900 MW, premier d'une série à suivre rapidement. Le financement du démantèlement scientifique du 1<sup>er</sup> réacteur, tel que proposé en [section 1.2](#), devrait être porté par un consortium au moins français, allemand et suisse comme projet de recherche public d'intérêt européen et mondial.

## 4. Conclusions

L'ambition du projet de conversion des territoires à la transition énergétique et écologique après l'arrêt définitif et la fermeture de la centrale nucléaire de Fessenheim doit être à la hauteur des enjeux régionaux :

- réussir la planification de la fermeture complète de la première centrale nucléaire de taille industrielle en France de manière exemplaire et démocratique;
- réussir le premier démantèlement industriel complet et standardisé d'un réacteur à eau pressurisé de 900 MW<sub>e</sub> en France pour en dégager tous les enseignements économiques et techniques nécessaires aux futurs démantèlements des autres réacteurs qui devront s'enchaîner régulièrement pour éviter l'effet de falaise tant redouté de la fin du tout nucléaire français ;
- engager le premier démantèlement scientifique international du plus vieux réacteur nucléaire industriel de 900 MW<sub>e</sub> à eau pressurisée en vue d'une expertise transparente et complète sur le vieillissement des matériaux sous irradiation neutronique ;
- convertir tous les emplois directs et indirects liés à la centrale nucléaire de Fessenheim vers les nouvelles compétences durables dans la transition écologique et énergétique renouvelable, en créant rapidement et massivement des emplois durables et non-délocalisables beaucoup plus nombreux que ceux qui auront été réellement supprimés ;
- amorcer dès maintenant de manière planifiée et démocratique la transformation profonde de la structure énergétique de la région vers le système énergétique intelligent 100% renouvelable futur, déjà en cours d'installation dans les pays européens les plus avancés, basé sur la sobriété, l'efficacité, les énergies renouvelables et la soutenabilité écologique la plus profonde, dans une région marquée historiquement par un profond attachement à la nature, à l'écologie, à la démocratie et à l'Europe.

La mise en place des structures administratives et politiques de pilotage de la planification énergétique locale (étendue aux régions limitrophes impliquées par la fermeture de la CNPE) pour définir démocratiquement la politique de transition à mettre en œuvre en cohérence sur le moyen et le long terme est le préalable nécessaire pour investir efficacement, écologiquement et socialement, dans l'économie de la transition.

Il s'agit de mobiliser l'ensemble de notre société démocratique dans toutes ses composantes sociales, professionnelles et politiques, de coordonner les initiatives locales pour orienter massivement les investissements industriels, agricoles, résidentiels, tertiaires et domestiques vers les nouvelles structures énergétiques de production renouvelable, de distribution (réseaux intelligents couplés d'électricité, de chaleur, de froid, de gaz) et de stockage décentralisées qui sont les seules à même de garantir à long terme la soutenabilité de nos sociétés modernes et de maintenir sous contrôle réversible le changement climatique, en éliminant le recours aux énergies fossiles et fissiles, les gaspillages de matière et d'énergie, tout en préservant les équilibres biologiques des écosystèmes, dans le respect des valeurs humanistes et progressistes fondamentales de notre société.

La transparence et l'information scientifique les plus complètes, la participation citoyenne active et le contrôle démocratique des projets seront les conditions-mêmes de la réussite et de l'exemplarité de la transition énergétique et écologique des territoires locaux de l'après-Fessenheim : c'est à ce grand projet moderne de société soutenable que ces propositions souhaitent contribuer efficacement de manière détaillée dans une vision holistique de long terme.

Le 11 mars 2019

Pr Thierry de LAROCHELAMBERT



## A. Annexe A. Programme de recherche sur le vieillissement des aciers sous irradiation.

Ce programme de recherche devrait être orienté vers la *mesure fine et la modélisation aux échelles micro- et nanoscopiques des modifications structurelles induites par la fluence neutronique dans les aciers (en particulier le 16MND5), les variations de température de transition ductile-fragile  $\Delta T_{RNDT}$ , les déplacements par atome (dpa), en fonction de l'emplacement des échantillons prélevés dans toutes les zones représentatives du circuit primaire, de la cuve et du couvercle*. Les différentes techniques de mesure de pointe actuellement disponibles (tomographie X et US, spectrométries  $\gamma$  et Raman, XPS, résistivité électrique, MEB, MET, spectroscopie d'impédance, diffractométrie X, etc.), ainsi que les mesures classiques statiques et dynamiques de ténacité, résistance et fluage doivent pouvoir être appliquées à l'inspection de ces zones et aux échantillons qui en seront extraits par différentes méthodes de découpe.

En effet, le vieillissement des matériaux nucléaires sous irradiation dans les réacteurs nucléaires reste encore insuffisamment connu et compris (en particulier les mécanismes d'élévation de la température de transition ductile-fragile des aciers inox, les déplacements des atomes – en particulier de carbone – sous bombardement neutronique, l'initiation et la propagation des microfissures jusqu'aux fracturations, la corrosion par contrainte induite sous irradiation, etc.) et fait l'objet de nombreux travaux de recherche européens<sup>27</sup>. Le découpage scientifique de toutes les parties primaires irradiées du réacteur n°1 serait un formidable moyen d'investigation à l'échelle 1 pour une meilleure compréhension de ces mécanismes de vieillissement des aciers irradiés.

Ce consortium de recherche devrait pouvoir être constitué en amont avec des financements français (par exemple de type ANR) ou européens (de type FEDER) pour être opérationnel au plus tôt en début de phase de démantèlement des parties radioactives du réacteur n°1.

L'étanchéité de certaines parties du bâtiment réacteur mises en dépression avec filtres fins des poussières et des éléments radioactifs est essentielle pour la protection extérieure contre les émissions radioactives lors des opérations de démontage du circuit secondaire, des GV puis du circuit primaire, effectuées après lavage et filtrage des dépôts radioactifs (cobalt 60 en particulier, de période de demi-vie radioactive 5,27 ans et de haute activité  $4,19 \cdot 10^{16}$  Bq.kg<sup>-1</sup>).

L'examen fin de la cuve et du couvercle avant découpage doit pouvoir être menée d'abord à sec – une fois le couvercle séparé – et à distance après la période nécessaire à la décroissance des éléments radioactifs de courte période (<sup>60</sup>Co), après lavage et filtrage des dépôts radioactifs contaminants. Ceci requiert un *entreposage interne protégé des effluents et des filtres en silos étanches*.

Pour le démontage et le découpage de la cuve, du couvercle et des éléments du circuit primaire, la protection des opérateurs requiert l'utilisation de robots spécifiquement développés pour autoriser l'analyse ultérieure des échantillons après découpe grossière par le robot dédié. Il doit pouvoir être envisagé de *construire un bâtiment résistant de stockage des pièces radioactives ainsi découpées, conditionnées et mises en forme* pour analyses ultérieures dans les laboratoires de recherche. L'expertise des organismes de recherche universitaire et de surveillance nucléaires (CEA, CNRS, IRSN côté français) sera essentielle pour l'élaboration des protocoles, de la phase initiale de nettoyage-démontage à la phase finale d'extraction-analyse des échantillons, en passant par la phase d'analyse in-situ avant découpe.

## B. Annexe B. Structure du Système Énergétique Renouvelable Intelligent proposé

- *Le réseau électrique intelligent local moyenne tension* : il absorbe et régule la puissance des **unités locales de production photovoltaïque**, des **unités de cogénération biomasse-biogaz**, des éventuelles **unités de cogénération géothermique haute température**. Il gère les **unités locales de stockage électrochimique**, les **batteries des véhicules électriques** en charge/décharge (V2G/G2V) sur les lieux de travail et à domicile, et les **électrolyseurs**. Il assure le suivi de charge par asservissement de la fréquence et de la tension sur le réseau (onduleurs et/ou compensateurs synchrones) et de la puissance injectée (modulation de puissance des cogénérateurs à biomasse-biogaz-hydrogène, des générateurs électrochimiques) et par gestion de la demande flexible. Une *aide financière* aux entreprises, aux administrations, aux hôpitaux, aux établissements scolaires, aux supermarchés et hypermarchés doit être spécifiquement dirigée vers l'installation massive de places de stationnement à bornes de recharge électrique réservées aux véhicules électriques d'entreprise, des employés, des administrés, des clients et usagers, avec prime à la production d'électricité par centrale photovoltaïque *in-situ* directement connectée aux bornes de recharge et au réseau intelligent.
- *Les réseaux intelligents de chaleur et de froid locaux* : ils sont naturellement connectés aux **centrales de production thermique solaires**, aux **chaufferies biomasse** (biogaz, plaquettes ou granulés bois, paille, déchets végétaux solides, déchets domestiques renouvelables) ; aux **centrales géothermiques moyenne température** et aux **centrales de cogénération géothermiques haute température EGS** ; aux **unités de stockage d'eau chaude** situées près des champs de capteurs solaires et des chaufferies ; aux **unités de cogénération** (récupération de chaleur) et aux **unités de trigénération** (froid + chaleur + électricité) ; aux **collecteurs de chaleur fatale** industrielle, artisanale, tertiaire ; aux éventuels **datacenters**. Des **pompes à chaleur industrielles** à haut rendement, connectées au réseau électrique local intelligent, absorbent les excédents de courant électrique renouvelable variable (photovoltaïque, éolien) pour les injecter sous forme de chaleur dans les réseaux de chaleur. *Le financement de ces réseaux sur le fonds chaleur doit être renforcé localement* pour accélérer leur mise en place, leur extension et leur interconnexion aux réseaux électriques et gaz locaux.
- *Les réseaux intelligents de gaz méthane, biométhane, hydrogène* : le *méthane* produit dans les **digesteurs** par fermentation de déchets agricoles et ménagers peut être brûlé dans un cogénérateur local ou injecté directement dans les réseaux de gaz naturel, après séparation du CO<sub>2</sub> contenu dans ce biogaz, lui-même valorisé par *méthanation*. Le *dihydrogène* produit par des **électrolyseurs** modernes (rendement 82%) à partir des énergies renouvelables peut être stocké sans compression dans des réservoirs à éponge métallique pour être utilisé ultérieurement dans des **piles à combustibles** produisant de l'électricité et de la chaleur, ou injecté sans problèmes à des taux d'au moins 10% dans les réseaux de gaz naturel (méthane), ce qui constitue en soi une économie importante d'énergie fossile. Cependant, les réseaux de transport d'hydrogène se multiplieront à l'avenir avec le développement des EnR électriques solaires et éoliennes en vue du stockage chimique de l'électricité, de l'utilisation possible de l'hydrogène dans les camions, les avions, les bateaux et les trains (si elle devient efficace et économique par

rapport aux batteries) et de son utilisation dans l'industrie chimique en remplacement de l'hydrogène de craquage pétrolier.

Un financement doit donc cibler une installation de couplage des réseaux hydrogène aux réseaux de méthane et de chaleur sur les sites de production de biogaz par l'intermédiaire de nouvelles **unités de méthanation** connectées aux réseaux de chaleur transformant le dioxyde de carbone extrait du biogaz en méthane par réaction de Sabatier avec le dihydrogène renouvelable, le méthane produit localement étant ajouté à celui du biogaz pour être consommé sur place ou injecté dans le réseau de gaz naturel pour y être stocké. La réaction de méthanation étant exothermique, les stations de méthanation devront systématiquement être connectées aux réseaux de chaleur locaux pour récupérer cette chaleur.

En outre, la région Alsace pourrait être le fer de lance d'un nouveau procédé industriel de décarbonation du méthane dans des **réacteurs de craquage du méthane** pour le décomposer par procédé continu ou semi-continu en poudre de carbone pur valorisable, tout en restituant le dihydrogène ; l'Université de Haute-Alsace (Laboratoire GRE) pourrait être le porteur de ce projet de recherche et développement pour créer un pilote pré-industriel de craquage de méthane.

- *Le couplage des réseaux* : le défi technologique à relever pour le laboratoire CRSERI consistera à *dimensionner ces installations* pour coupler efficacement tous ces réseaux in-situ et *optimiser la gestion des flux d'énergies renouvelables* par procédé de contrôle-commande auto-adaptatif en fonction des demandes horaires, journalières et hebdomadaires, voire mensuelles. L'échelle des installations doit être celle des réseaux locaux (cantonale, agglomérations urbaines) et peut dépasser 50 km<sup>28</sup>. Les **centres de stockage et de traitement des données numériques** nécessaires à la gestion intelligente des réseaux énergétiques intelligents couplés doivent impérativement être installés au voisinage des réseaux de chaleur et de stockage électrique pour récupérer la chaleur fatale produite par les serveurs et les ordinateurs.
- *Les unités de production électrique renouvelable* : la substitution progressive des énergies fossiles et nucléaires par les énergies renouvelables sans accroissement des émissions de gaz à effet de serre, très avancée dans plusieurs pays européens, est techniquement et économiquement réalisable et peut être efficacement accélérée si elle est menée de manière cohérente (réseaux énergétiques intelligents couplés) et parallèlement à la progression des économies d'énergie (isolation, éclairage, écrans, communication, transports, matières premières, recyclage) et de l'efficacité (remplacement des appareils, généralisation de la cogénération, élimination du chauffage électrique, extension des pompes à chaleur industrielles). Plusieurs études prospectives ont montré que le potentiel énergétique renouvelable exploitable en Alsace dépasse très largement les besoins de tous les secteurs économiques (industrie, énergie, agriculture et transports ; habitat ; services, commerces, artisanat, culture), et fournissent des estimations chiffrées des gisements solaires, éoliens, hydrauliques, géothermiques et biomassiques, ainsi que des évaluations des quantités d'énergie renouvelable utilisables économiquement<sup>29,30,31,32,33,34,35</sup>. À l'échelle locale des territoires autour de Fessenheim, du Haut-Rhin, du Territoire de Belfort et des Vosges, l'électricité renouvelable doit provenir :
  - de **centrales solaires de grande taille** (> 100 kW<sub>c</sub>) et **très grande taille** (> 1 MW<sub>c</sub>) sous forme de sociétés publiques locales et coopératives) installées sur friches industrielles et sur pâturages, et d'**installations de taille intermédiaire** (de 10 à 100 kW<sub>c</sub>

sur les toits agricoles et commerciaux (supérettes, supermarchés), sur les bâtiments publics, sur les immeubles d'habitation collective (HLM, résidences), sur les bâtiments tertiaires et industriels, sur les parkings automobiles (ombrières), etc. Le recensement systématique des surfaces disponibles doit être confirmé au plus vite pour planifier l'équipement des sites par ordre de priorité. L'électricité photovoltaïque produite par les grandes centrales sera injectée directement sur le réseau électrique local, tandis que les installations intermédiaires privilégieront l'autoconsommation locale et collective pour les besoins en électricité spécifique (moteurs, éclairage, électronique), chauffage et eau chaude (pompe à chaleur) et réfrigération, le surplus étant envoyé et revendu sur le réseau local. Pour permettre aux collectivités locales, aux coopératives et aux associations locales d'être les acteurs privilégiés de la maîtrise d'œuvre et d'ouvrage de l'énergie locale, ***il est indispensable de réserver la plus grande part appels d'offre aux petites et moyennes installations accessibles aux échelles locales*** (départements Haut-Rhin, Bas-Rhin, Vosges et Territoire de Belfort), les grandes installations (> 30 MW<sub>c</sub>) soumises aux appels d'offre classiques à l'échelle nationale et internationale devant rester limitées ;

- d'**unités de cogénération biomasse** (plaquette de bois, paille) et biogaz connectées sur le réseau électrique et les réseaux de chaleur locaux ;
- d'**unités de cogénération géothermique profonde (EGS)** couplées aux réseaux de chaleur locaux (Colmar, Neuf-Brisach, Mulhouse, etc.) ;
- de **petites unités éoliennes basse vitesse** implantables sur bâtiments ventés ;
- d'**éoliennes nouvelles à basse vitesse** (axe horizontal et axe vertical) à expérimenter en plaine d'Alsace et dans la trouée de Belfort ;
- d'**éoliennes de grande puissance** dans les Vosges (soutien financier aux projets citoyens et communaux de Muhlbach, de Lapoutroie, etc.) ;
- de **stations de transfert d'énergie par pompage hydroélectrique (STEP)** en montagne : la centrale hydroélectrique du Lac Noir-Lac Blanc doit impérativement être financée pour être reconstruite, modernisée et connectée au plus vite au réseau électrique local intelligent, si possible en régie municipale ou par SEM ;
- de **mini- et microcentrales hydroélectriques au fil de l'eau** sur les cours d'eau potentiellement aménageables en Alsace, dans les Vosges et dans le Territoire de Belfort ;
- des **grandes centrales hydroélectriques modernisées sur le Rhin et le grand Canal d'Alsace** (comme cela a été fait à Kembs et Vogelgrün) pour accroître le rendement de turbinage et de conversion électrique. La gestion de ces centrales hydrauliques doit être menée sur des critères de contrôle de niveau des eaux du Rhin et du canal au regard de leur utilisation pour la navigation, la prévention des inondations, le contrôle des étiages, et ne doit plus servir au suivi de charge en lieu et place des réacteurs nucléaires dans une philosophie de réduction du nombre des réacteurs nucléaires et de valorisation optimale des ressources disponibles en énergie hydraulique. Leur gestion doit être orientée dans ce sens, et devrait être confiée à des acteurs de service public locaux (régies ou SEM) ou à un fournisseur d'énergies renouvelables public national après les fins de concession prévues pour chaque usine.

- *Les unités de production de chaleur et de froid renouvelable* : à l'échelle locale, l'injection massive dans les réseaux de chaleur de l'énergie solaire thermique produite par des **centrales solaires thermiques** adossées aux centrales de cogénération et aux chaufferies est prioritaire car elle permet de réduire d'autant la consommation de biomasse<sup>36</sup> ; de même, l'installation de capteurs solaires thermiques pour l'eau chaude et le chauffage sur les maisons individuelles isolées des réseaux de chaleur est également prioritaire pour éliminer partout où cela est possible le chauffage électrique, peu efficace et coûteux<sup>37,38</sup>. La production de froid renouvelable par **absorbeurs** doit être systématiquement prévue dans les unités de cogénération (transformées en **unités de trigénération**) dans les villes et agglomérations où des réseaux de froid sont nécessaires pour abaisser la consommation d'électricité de climatisation, en attendant les futures unités de froid magnéto-caloriques encore en développement dans les laboratoires de recherche (département Energie de l'Institut FEMTO-ST à Belfort, INSA Strasbourg).
- *Les unités de stockage thermique* : des **unités de stockage thermique journalier et hebdomadaire** doivent être *systématiquement* installées au voisinage des unités de cogénération et de production de chaleur alimentant les réseaux de chaleur ; ce sont des réservoirs d'eau de grande taille particulièrement isolés. Une **unité de stockage de chaleur solaire thermique saisonnier** doit pouvoir être installée au voisinage d'une grande agglomération (Mulhouse, Colmar, Neuf-Brisach) et d'un champ de capteurs solaires thermiques à concentration ou plans de dernière génération couplé au réseau de chaleur local, à l'instar des installations de plusieurs villes au Danemark<sup>39,40,41</sup> ; un ancien site industriel, une ancienne gravière à proximité d'une de ces villes doivent pouvoir être mobilisés.
- *Les unités de production de biogaz* : elles sont à implanter sur les sites de traitement d'effluents industriels, les stations d'épuration communales et intercommunales, les sites de production agricole à déjections animaux (lisiers). Elles doivent être couplées aux réseaux de gaz, de chaleur, et leur connexion à une unité de production locale d'hydrogène renouvelable et de méthanation (par récupération du CO<sub>2</sub>) doit être étudiée systématiquement.
- *Les unités locales de production-stockage électrochimique et électrolyseurs* : les unités de production de dihydrogène local par électrolyseurs à membrane à protons (PEMFC réversible) devront être couplées aux réseaux de chaleur et d'électricité locaux, de même que les piles à combustibles hydrogène (PEMFC basse température pour le tertiaire et le domestique, SOFC haute température pour l'industrie). Des unités de **batteries électrochimiques pour le stockage d'électricité journalier et hebdomadaire** seront installées aux lieux de production électrique renouvelable, et viendront renforcer le stockage par véhicules électriques en charge/décharge sur les lieux de travail. Des **unités de nouvelles batteries de stockage électrochimique de masse** (fer-soufre, sodium-ion, zinc-air, rédox-flow) mises au point par un consortium de laboratoires de recherche (CNRS, UHA, Unistra, UFC, Fraunhofer Institut, etc.) dans la région seront également testées sur place. Le couplage aux flottes municipales et industrielles de véhicules électriques, aux bornes de recharge municipales de véhicules et de vélos électriques sera privilégié.
- *Les unités locales de stockage gazeux* : le dihydrogène produit localement et non utilisé ni réinjecté dans le réseau de gaz est stockable en réservoirs à métaux poreux (alliages de magnésium principalement) pour la réserve des piles à combustibles.

- *Les unités locales de stockage de biomasse solide* : elles sont systématiquement installées près des unités de cogénération biomasse, et équipées d'un système de séchage solaire.
- *Les unités locales de méthanation* : elles sont installées sur les lieux de production d'hydrogène renouvelable et de biogaz ; elles sont connectées aux réseaux de gaz et de chaleur locaux.

## C. Annexe C. Plans d'investissement et d'action sectoriels

### C.1. Plan Énergies Renouvelables

Une série de propositions sont formulées ci-dessous à court-terme (1<sup>er</sup> quadriennal) et moyen terme (horizon 2030) pour le Conseil de Planification. L'ambition des plans proposés doit être à la hauteur des enjeux climatiques extraordinairement contraignants, du changement urgent à mettre en œuvre pour que les structures énergétiques locales, régionales et nationales soient efficaces à long terme (horizon 2050), et des enjeux socio-économiques (reconversion des emplois fossiles et nucléaires dans la nouvelle économie soutenable et renouvelable) :

- **Plan photovoltaïque** : les 300 MWc déjà actés et proposés en appels d'offre publique (200 MWc de centrales au sol, 75 MWc de centrales en toitures, 25 MWc de petites installations) sont un premier pas vers le déploiement généralisé de la production photovoltaïque locale qui a vocation à réhabiliter les zones industrielles désaffectées, à assurer l'autoconsommation généralisée des surfaces commerciales, des bâtiments industriels, des bureaux, des établissements scolaires et des bâtiments agricoles ; à couvrir les parcs de stationnement des véhicules et des bus électriques, des stations de tramway, des gares routières et de chemin de fer ; à assurer une grande partie des consommations des maisons individuelles ; à recharger une grande partie des véhicules électriques dont le développement est un atout pour le stockage local des EnR électriques.  **Ils doivent pouvoir être mis en œuvre et opérationnel dans le 1<sup>er</sup> quadriennal et produire 370 GWh/an.** Au vu des progrès et de la baisse des coûts très rapides des technologies photovoltaïques et de la disponibilité des friches industrielles disponibles (environ 400 ha) et des surfaces industrielles, commerciales, résidentielles collectives, hôtelières, administratives, scolaires, sportives encore non équipées dans les zones non historiques (de 1000 à 1500 ha, soit 1,9 à 2,9 GWc), **une production photovoltaïque minimale de 1 TWh/an doit pouvoir être envisagée d'ici 2030.** Priorité doit être accordée aux centrales photovoltaïques locales de petite et moyenne puissance à maîtrise d'ouvrage publique (collectivités locales, coopératives, associations citoyennes, cf. [annexe B](#)).
- **Plan solaire thermique** : l'énergie solaire thermique est potentiellement le plus important des gisements renouvelables à développer, que ce soit en installations actives (capteurs solaires plans ou paraboliques) qu'en installations passives (vitrages). Un plan de développement massif d'installations de parcs solaires thermiques couplés aux chaufferies des réseaux de chaleur et de froid doit être rapidement élaboré parallèlement à l'extension des réseaux de chaleur actuels et à la création de nouveaux réseaux de chaleur dans toutes les communautés de communes pour viser un objectif de **taux de couverture solaire de 30 à 50% de la chaleur annuelle distribuée d'ici 2030.** Un plan d'équipement de chauffage et d'eau chaude solaire des bâtiments collectifs, des bâtiments industriels, des bâtiments tertiaires et des habitations individuelles bien exposés sera mis en place simultanément pour accélérer le remplacement des chauffages électriques, parallèlement aux pompes à chaleur géothermales pour les bâtiments mal exposés. **L'énergie solaire active ainsi produite doit pouvoir**

**atteindre a minima 50 GWh/an dans le 1<sup>er</sup> quadriennal et 200 GWh/an d'ici 2030.** L'intérêt du développement du solaire thermique dans les réseaux de chaleur et de froid est son potentiel énorme de stockage BT et d'économie de biomasse ; il est donc essentiel pour la soutenabilité du futur système énergétique renouvelable intelligent.

- **Plan biomasse-biogaz** : en complément du plan solaire thermique, l'alimentation en chaleur complémentaire des *centrales de chauffe des réseaux de chauffage* sera assurée selon les cas par des **cogénérateurs et tri-générateurs à biogaz ou à biomasse** (paille, plaquettes bois, déchets forestiers, etc.) qui seront aussi couplés aux réseaux locaux d'électricité et de froid, ou par des pompes à chaleur connectées également aux réseaux de froid. Un plan d'installation d'unités de production agricoles, industrielles et urbaines de biogaz doit pouvoir couvrir une grande partie du reste des consommations de chaleur par les réseaux de chauffage à mesure de leur déploiement. **Une production globale minimale de 700 GWh/an de chaleur supplémentaire par biomasse (500 GWh/an) et biogaz (200 GWh/an) d'ici 2030 doit être envisagée, avec un objectif minimal de 200 GWh/an dans le 1<sup>er</sup> quadriennal.**

*Simultanément, les unités de cogénération et trigénération doivent pouvoir produire simultanément une quantité d'énergie électrique supplémentaire représentant de 20 et 40% de l'énergie thermique distribuée* : le but est d'assurer localement l'appoint d'électricité d'équilibrage du réseau par turbines à gaz ou vapeur (la chaleur étant récupérée dans les réseaux de chauffage locaux) en complément des autres sources d'appoint et de régulation du réseau électrique (STEP, stations de batteries chimiques, stations de stockage hydrogène électrolyseur-pile à combustible, compensateurs synchrones). **Une production électrique ambitieuse minimale d'électricité par cogénération biomasse-biogaz de 140 GWh/an peut être installée d'ici 2030, dont 4 GWh/an pendant le 1<sup>er</sup> quadriennal.**

L'incinération de CSR et de déchets ménagers non compostables ni producteurs de biogaz peut également être mise à contribution, mais son développement n'est pas souhaitable, le recyclage des matériaux devant être privilégié.

En revanche, **la récupération de chaleur fatale à partir des industries, des eaux usées est prioritaire et doit pouvoir fournir a minima 150 GWh/an dans le 1<sup>er</sup> quadriennal et 350 GWh/an à l'horizon 2030.**

L'ensemble de ces productions requiert la mise en place et l'extension des réseaux de chaleur dans la plupart des communautés de communes urbaines et semi-urbaines (voir le Plan Co- et tri-génération et réseaux de chaleur).

- **Plan hydroélectricité** : une des priorités est la **remise en service et la modernisation de la station de pompage-turbinage entre le lac Noir et le lac Blanc**, de puissance initiale 80 MW. Le projet d'EDF, non réalisé, de modernisation de l'installation ramenée à 55 MW doit être repris et redimensionné par une structure publique locale pour permettre une mise en service en fin de 1<sup>er</sup> quinquennat si possible. Un plan de modernisation des turbines des centrales hydroélectriques du Haut-Rhin doit pouvoir augmenter la production moyenne d'au moins 300 GWh/an à terme, et l'augmentation de la marche en éclusées et de turbinage des centrales du Haut-Rhin, libérées de la contrainte de refroidissement de la centrale nucléaire de Fessenheim et de suivi de charge grâce à la montée en charge des stockages électriques, thermiques et gaziers, à l'élimination du chauffage électrique, doit également permettre d'accroître leur production annuelle d'au moins 100 GWh supplémentaires. Au total, **une augmentation de l'ordre de 100 GWh des grandes usines hydroélectriques sur**

**le Rhin doit pouvoir être obtenue d'ici 2030 dans le Haut-Rhin, dont 40 GWh/an dans le 1<sup>er</sup> quinquennal.**

La **petite et micro-hydroélectricité** des versants Est des Vosges, des contreforts jurassiens au sud et du canal Rhin-Rhône, qui produit actuellement de l'ordre de 3,5 GWh/an, peut également faire l'objet d'amélioration et bénéficier de nouvelles installations conduisant à un **accroissement de l'ordre de 15 GWh/an d'ici 2030, dont au moins 4 GWh/an pourraient être mobilisés pendant le 1<sup>er</sup> quadriennal.**

- **Plan géothermie** : l'Alsace, et plus particulièrement le Haut-Rhin, est une des régions françaises dont le potentiel géothermique de moyenne et haute température est très élevé, en raison de son passé et de sa structure géologiques privilégiés (bassin sédimentaire d'effondrement, anomalie du gradient géothermique). Un plan de développement à long terme des installations géothermiques BT et MT dans les réservoirs géologiques du Rauracien (BT) et de la Grande Oolithe (MT) permettant de couvrir une consommation *minimale* de chaleur de 150 GWh/an dans les réseaux de chaleur urbains du Haut-Rhin devrait pouvoir être initié lors du 1<sup>er</sup> quadriennal **en visant la réalisation d'au moins deux doublets géothermiques dans la Grande Oolithe et le Rauracien à Colmar et Mulhouse capables de fournir au moins 80 GWh/an de chaleur aux réseaux thermiques locaux.** Un plan d'utilisation des réservoirs géothermiques plus profonds du Muschelkalk et du Buntsandstein pouvant fournir également 150 GWh/an à terme aux réseaux de chaleur haut-rhinois pourra être ensuite programmé selon les avancées du développement géothermal dans la perspective d'une couverture 100% renouvelable des besoins thermiques du Haut-Rhin avant 2050.

La géothermie profonde par stimulation des réservoirs (EGS)<sup>42</sup>, dont la mise en œuvre et la maîtrise a été développée depuis une décennie en Alsace à travers le projet européen de Soultz-sous-Forêt, peut être également déployée dans le Haut-Rhin à des profondeurs suffisantes pour atteindre le socle granitique dans des zones suffisamment micro-faillées et productives. La ressource exploitable en Alsace peut être évaluée à plus de 190 GWh<sub>th</sub>/an et 120 GWh<sub>e</sub>/an par le BRGM<sup>43</sup>, essentiellement dans le Bas-Rhin. La configuration du socle granitique, qui remonte vers le sud et l'ouest dans le Haut-Rhin, rend plus difficile une exploitation en cogénération à haute température ; des explorations plus fines aux droits des points chauds vers St Louis, Thann, Cernay et Colmar seront nécessaires pour envisager de manière prospective un plan d'investissement EGS fiable et économique dans le Haut-Rhin.

Le développement de PAC industrielles efficaces sur nappe phréatique doit par ailleurs être encouragé pour le stockage électrique renouvelable sous forme de chaleur dans les réseaux de chaleur urbains et dans les entreprises non raccordables pour permettre l'élimination rapide et planifiée des chauffages électriques, extrêmement inefficaces, coûteux et source de déséquilibre du réseau électrique par surpuissance électrique appelée aux pointes d'hiver. **Le potentiel haut-rhinois de pompes à chaleur géothermales industrielles sur nappe phréatique, que l'on peut évaluer a minima à 300 GWh/an, doit pouvoir fournir aux réseaux de chaleur 10 GWh dans le 1<sup>er</sup> quadriennal.**

- **Plan éolien** : la ressource éolienne en Alsace est très contrastée entre les zones fortement ventées des hauteurs vosgiennes, de la trouée de Belfort et des contreforts jurassiens d'une part, et la plaine du Rhin peu ventée d'autre part. Le retard énorme pris par la France dans la valorisation de son propre gisement éolien (particulière-

ment offshore) doit être impérativement comblé car il grève le potentiel industriel éolien français, le développement économique local des territoires (en particulier les créations d'emplois pérennes) et la balance commerciale de notre pays, et limite les capacités d'élimination des énergies fossiles et fissiles dans l'approvisionnement énergétique français. Les freins administratifs, les recours juridiques systématiques d'une minorité d'activistes conservateurs anti-éoliens par principe, recourant massivement aux procédés de désinformation anti-scientifique par réseaux sociaux d'une grande malhonnêteté intellectuelle ont jusqu'à présent empêché de manière totalement abusive et ubuesque l'émergence de tout projet éolien dans le Haut-Rhin.

Il est indispensable de rompre dès aujourd'hui ce blocage incohérent en développant plusieurs projets locaux d'installations d'éoliennes basés sur la concertation publique populaire communale et cantonale, la volonté des équipes municipales et des associations locales environnementales, la garantie publique de la fiabilité technique et de la viabilité économique par l'Etat, la Région Alsace et le Département du Haut-Rhin sous forme de coopératives locales (si elles existent) ou collectives (Energie Partagée) en liaison avec les fournisseurs d'énergie indépendants comme Enercoop, indépendamment des fournisseurs d'énergie traditionnels dont la logique industrielle n'est pas la maîtrise locale et économique des projets énergétiques.

Priorité doit être accordée à court terme (1<sup>er</sup> quadriennal) au soutien aux projets des communes et coopératives en cours d'élaboration sur les sites à fort potentiel éolien : vallées vosgiennes (Muhlbach, Le Bonhomme, vallée de la Thur, vallée de la Doller) et ouest sundgovien vers Dannemarie.

Un plan d'équipement d'un **premier parc éolien public (si possible coopératif et/ou intercommunal) de 5 à 10 éoliennes nouvelles de 3 MW<sub>e</sub> chacune** (sans aimants permanents, grande surface, spectre élargi aux basses vitesses de vent, facteur de charge équivalent minimum de 30%) et d'au moins un **projet d'installation d'une éolienne communale vosgienne de 3 MW<sub>e</sub>** doivent pouvoir être co-financés et aidés sur le plan administratif dès le lancement du 1<sup>er</sup> quadriennal de la reconversion post-Fessenheim ; l'objectif visé est leur mise en place rapide et leur démarrage en fin de quadriennal, avec une production d'au moins 40 GWh/an, pour établir la faisabilité, la soutenabilité et la viabilité des projets éoliens à forte acceptabilité sociale, comme c'est le cas au Danemark par exemple.

Le développement du potentiel éolien vosgien, haut-rhinois et belfortain, estimé à plus de 1 TWh/an pourra se poursuivre alors sur des bases de soutenabilité et d'acceptabilité sociales solides, vertueuses et contrôlées.

## C.2. Plan Cogénération et réseaux de chaleur-froid

Au cours du 1<sup>er</sup> quadriennal, un plan Cogénération et réseaux de chaleur-froid doit pouvoir être élaboré et financé sur le fonds chaleur et sur les fonds EnR avec les acteurs locaux (municipalités, associations environnementales et d'usagers, sociétés et bureaux d'étude) pour répondre aux objectifs suivants :

- l'extension des réseaux de chaleur locaux existants (Mulhouse, Illberg, Colmar, St-Louis, Rixheim, Cernay, Vogelgrün, Bollwiller, etc.) ;
- la création de nouveaux réseaux de chaleur et de froid pour les agglomérations urbaines et les communautés de communes rurales susceptibles d'en bénéficier

- l'alimentation des réseaux par des unités de cogénération ou de trigénération biomasse, biogaz et hydrogène ; des champs de capteurs solaires thermiques ; des unités de récupération de chaleur fatale industrielle, commerciale et résidentielle collective là où elles se justifient économiquement ;
- la conversion planifiée des centrales de chauffe fuel et gaz à la biomasse (plaquettes, granulés bois, paille, rafles, miscanthus, TCR, CSR, etc.), au biogaz, avec ajout possible de brûleurs hydrogène en expérimentation ;
- l'élimination du chauffage électrique partout où c'est possible ;
- le couplage aux projets de chauffage géothermique MT et HT ;
- l'utilisation de grandes unités de pompes à chaleur industrielles sur nappe et sur réservoirs géothermaux BT.

### C.3 . Plan Rénovation thermique

Développer les EnR locales sans diminuer simultanément les besoins énergétiques serait une grave erreur économique. L'efficacité énergétique des territoires s'en trouverait certes grandement améliorée sur certains points, mais resterait limitée structurellement à certains secteurs (substitution du chauffage électrique par les sources renouvelables locales ; transports électriques). De plus, le risque de gaspiller inutilement des ressources renouvelables de stock (biomasse) ou de conduire à des équipements surpuissants pour compenser les gaspillages ou la variabilité en l'absence de stockage irait à l'encontre de la soutenabilité même des projets d'installations énergétiques renouvelables : remplacer le gaspillage que représente l'actuelle production énergétique nucléaire par une production équivalente en électricité renouvelable serait un non-sens économique, écologique et physique.

La sobriété est donc le socle sur lequel doit être conçu et bâti le nouveau système énergétique à mettre en place pendant la reconversion des territoires du Haut-Rhin, des Vosges et du Territoire de Belfort. Elle doit être par conséquent incluse dès le début du 1<sup>er</sup> quadriennal, en symbiose avec les plans EnR précédents.

Le levier le plus important de la sobriété est la rénovation thermique des bâtiments existants, qu'ils soient résidentiels, tertiaires : plus de 7 TWh/an d'économies de chauffage sont potentiellement atteignables à l'échelle du département haut-rhinois ! **Un objectif minimal de 200 GWh/an d'économie de chauffage pourrait être mobilisé pendant le 1<sup>er</sup> quadriennal.**

### C.4 . Plan Sobriété-efficacité transports

Le second poste d'économie d'énergie et de gaz à effet de serre étant celui des transports, il est tout aussi essentiel de faire porter immédiatement les efforts structurels sur la création et l'amélioration des réseaux de transport des personnes et des marchandises en développant leur intermodalité et leur sobriété, et en les orientant vers l'efficacité électrique.

Il s'agit de mettre en œuvre les mesures développées dans la section 2.3, en priorisant les mesures structurelles d'une part et l'économie annuelle de combustibles fossiles d'autre part.

Outre le **maintien à 80 km/h de la vitesse limite des véhicules à moteur** sur les routes départementales et nationales à deux voies sans séparation, la **limitation à 100 km/h** de la vitesse sur les rocades urbaines, **la limitation à 120 km/h** sur toutes les autoroutes du Haut-Rhin et du Territoire de Belfort sont des leviers très efficaces de sobriété énergétique (diminution des consommations de carburant des VT de 3% à 7% de 90 à 80 km/h, de 7 à 11% de

130 à 120 km/h), de santé publique (diminution des émissions de d'oxydes d'azote, de particules fines et de GES) et de sécurité routière (diminution des accidents routiers et par conséquent de la mortalité, des dommages corporels, des dégâts psychologiques liés aux accidents routiers, des dégâts matériels, de la destruction des équipements de transports et donc du gaspillage de matériaux précieux et d'énergie afférents, diminution des émissions de GES liées aux fuites de gaz réfrigérants à *pouvoir de réchauffement global* énorme comme le R134a dont le PRG est 3710 fois celui du CO<sub>2</sub> sur 20 ans et 1300 sur 100 ans).

La **création d'une ligne ferroviaire transverse entre Colmar et Fribourg**, actée par le Traité d'Aix-la-Chapelle, répondra localement à l'objectif de sobriété si elle conduit à l'évitement de plusieurs milliers de kilomètre-voyageurs de transport routier par jour, ce qui impose de concevoir démocratiquement toutes les fonctionnalités de la ligne ferroviaire avec les usagers et les collectivités locales françaises et allemandes (cadences, localisation des stations, voitures réservées aux vélos, nombre de voyageurs par voiture, efficacité du confort thermique hiver-été, efficacité électrique, accessibilité handicapés et vélos, connexion aux autres lignes ferroviaires, plates-formes de chargement de fret, dimensionnement des parcs à vélos, etc.). Elle doit être envisagée comme la première d'un plan de réhabilitation et de reconquête des dessertes ferroviaires locales devant irriguer toute la plaine du Rhin, les vallées vosgiennes, le Sundgau et la Trouée de Belfort d'ici 2035, mais aussi d'accroissement des cadences des lignes déjà en service et d'abaissement des tarifs et abonnements, associé à la création de parcs vélo et automobiles gratuits à la journée pour encourager le délaissement du transport automobile.

La **création de 50 km/an de voies cyclables intercommunales** sur l'ensemble du département du Haut-Rhin (et 10 km/an dans le Territoire de Belfort) est indispensable pour accompagner la baisse de l'usage de l'automobile, des consommations liées de carburant et d'électricité, des émissions liées de GES, des maladies cardiovasculaires, de l'obésité, etc. Elle doit être planifiée démocratiquement dès le début du 1<sup>er</sup> quadriennal pour pouvoir être mise en œuvre dès la 2<sup>ème</sup> année. L'expérience montre que le coût d'un tel programme doit être considéré comme un investissement hautement rentable et rapide par les bénéfices socio-économiques qu'il induit.

Un **plan de transformation systématique de 5 à 10% par an des rues** à deux voies automobile en 1 voie centrale restreinte à sens unique flanquée de deux voies cyclables de grande largeur (> 1,2 m), élaboré démocratiquement avec les élus municipaux, les associations environnementales, les associations d'usagers des transports, les riverains, les services publics doit être rapidement mis à l'étude dans toutes les villes pour favoriser très rapidement l'usage des transports doux (vélos, trottinettes, etc.) et la circulation piétonne, modifier les pratiques, les habitudes et les mentalités pour rendre les villes respirables, conviviales et considérablement plus silencieuses. Les retours d'expérience seront essentiels pour étendre efficacement cette révolution urbaine douce à l'ensemble des communes en fonction de leur taille, de leur configuration géographique, de leur composition sociale et économique.

Un **plan d'installation de bornes de recharge électrique moyenne et rapide aux standards internationaux** doit être immédiatement mis en œuvre sur l'ensemble des deux départements pour anticiper le déploiement accéléré des véhicules électriques et des bus électriques. Tous les parkings sous-terrain, tous les parcs automobiles de chaque administration, de chaque zone commerciale, de chaque entreprise, de chaque bâtiment scolaire, de chaque place publique, de chaque salle de spectacle doivent être équipés prioritairement d'emplacements réservés aux véhicules électriques dans le 1<sup>er</sup> quadriennal, à raison d'une place sur 20 *a minima* (puis 1 place sur 5 dans les 10 ans, 1 place sur 2 dans les 20 ans, etc.), le rythme d'équipement devant faire l'objet d'un suivi décisionnel par la CLIPTEE.

## C.5. Plan Hydrogène – stockage électrochimique

Le « plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique », initié en juin 2018 par le Ministère de la transition écologique et solidaire et EDF vise d'abord

- à substituer le nucléaire<sup>44</sup> (et les EnR électriques dans une moindre mesure) aux énergies fossiles dans la production nationale de l'hydrogène industriel utilisé dans la chimie, la sidérurgie, la fabrication du verre, mais aussi dans la production de ciment ou la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> industrielles par réaction de méthanation ;
- en second lieu, à substituer le carburant H<sub>2</sub> aux carburants fossiles traditionnels (essence, diesel, GPL, GNV), à raison de 10 % d'hydrogène « décarboné » (adjectif scientifiquement très contestable pour le nucléaire) dans l'hydrogène industriel d'ici à 2023, et de 20 à 40 % d'ici 2028 ;
- en troisième lieu, à accroître le potentiel de stockage saisonnier des énergies renouvelables électriques par électrolyse de l'eau et injection directe de H<sub>2</sub> dans les réseaux de gaz naturel ou de méthane issu de méthanation  $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  ;
- enfin, à se substituer aux carburants fossiles dans les transports routiers (combustion directe ou piles à combustibles).

Cependant, si la production de H<sub>2</sub> par électrolyse pour remplacer le pétrole ou le méthane peut être vertueuse en terme d'émission de GES et de consommation d'énergie quand on utilise l'électricité renouvelable excédentaire, le rendement total de l'ensemble de la chaîne depuis l'extraction du minerai d'uranium et sa concentration jusqu'à la production d'électricité nucléaire (le rendement des centrales nucléaires n'est que 33%), le rendement de l'électrolyseur (82% au maximum), le rendement de stockage-déstockage (de 80 à 90% selon les techniques), le rendement de production électrique par pile à combustibles (50% environ) et le rendement de la conversion électrique-travail mécanique des véhicules électriques (90 à 95%) ne rend pas l'usage de l'hydrogène vertueux s'il est produit à partir de l'uranium.

Même produit à partir de sources électriques renouvelables, l'hydrogène reste aujourd'hui un vecteur de stockage moins efficace et intéressant que le stockage direct de l'électricité par batteries électriques pour le transport routier par véhicules électriques.

Cependant, la production de H<sub>2</sub> par électricité renouvelable dans les périodes excédentaires (ce qui sera le cas lorsque plus de 30% de l'électricité française proviendra de sources renouvelables variables) peut être intéressante pour le stockage d'énergie renouvelable dans le réseau de gaz naturel jusqu'à au moins 10% en fraction molaire, en vue d'économiser les importations de méthane.

On peut par conséquent cibler les actions prioritaires d'un plan hydrogène pour la reconversion énergétique post-Fessenheim, rencontrant en partie les plans hydrogène existants (DREAL Grand-Est<sup>45</sup>, DIRECCTE Grand Est<sup>46</sup>, ADEME<sup>47</sup>), et pouvant entrer dans les appels à projets Ademe en cours :

- **la mise en place d'une première installation pilote à l'échelle 1 de production de H<sub>2</sub> par électrolyseur à membrane à protons connectée à une grande installation de production de biogaz par digestion des effluents ménagers d'une grande agglomération et à un réacteur de méthanation** devrait être prioritaire pour capter le CO<sub>2</sub> (environ 50% du biogaz), le valoriser sous forme de méthane dans un réacteur de Sabatier implanté *in situ*

(lui-même connecté au réseau de chaleur local si possible car la réaction à 300-350°C sur catalyseur nickel est fortement exothermique), et stoker le super-biogaz ainsi produit dans le réseau local de gaz naturel. Cette double installation pilote {électrolyseur EnR + réacteur de méthanation} sur digesteur industriel ou semi-industriel pour la production décarbonée et renouvelable de biométhane aura vocation à devenir tête de série pour la production de biométhane pour les industriels de l'hydrogène, du méthane, du biogaz et les distributeurs d'énergie.

- L'Alsace, avec sa tradition industrielle chimique et ses écoles de chimie (ECPM<sup>48</sup>, ENSCMu<sup>49</sup>), en collaboration avec l'Institut Fraunhofer<sup>50</sup> de Freiburg im Breisgau et l'Université de chimie de Bâle<sup>51</sup> doit aussi pouvoir porter le **premier projet de réalisation d'un pilote semi-industriel de craquage continu ou à batch du méthane autocatalytique en vue de la production de H<sub>2</sub> et de noir de carbone, carbone actif et nanotubes de carbone**.<sup>52,53,54</sup>. Il s'agit là d'un projet à grand impact contre le réchauffement climatique puisqu'il permettrait d'éliminer le CO<sub>2</sub> émis par la combustion du méthane dans les chaudières industrielles pour ne brûler que le H<sub>2</sub> (avec liquéfaction de l'eau pour récupérer la chaleur latente) et valoriser économiquement et chimiquement le carbone à l'échelle mondiale. Un tel projet pourrait être porté en commun par la France et l'Allemagne et initié dès maintenant, avec une installation dans la zone franche au bord du Rhin, supervisée par les universités d'Alsace UHA-Unistra et du Baden-Württemberg.
- L'utilisation du H<sub>2</sub> renouvelable pour le stockage électrique dans une station fixe de cogénération en réseau de chaleur doit également pouvoir faire l'objet d'un **pilote intelligent de stockage EnR électrique-EnR H<sub>2</sub>** à l'échelle 1 connectant un électrolyseur performant à membrane et une pile à hydrogène PEMF ou SOFC entre le réseau électrique local, le réseau de chaleur (avec stockage thermique ECS) et un éventuel réseau hydrogène (s'il existe localement) ou un stockage basse pression sous forme d'hydrure métallique (MgH<sub>2</sub> par exemple). Ce projet pourrait être porté en collaboration France-Allemagne entre l'Institut FEMO-ST<sup>55</sup> de Belfort et l'Institut Fraunhofer de Freiburg im Breisgau déjà cité plus haut, sous l'égide de l'Ademe.
- L'utilisation du H<sub>2</sub> renouvelable pour la propulsion dans le transport devrait faire l'objet d'une **recherche expérimentale pilote pour l'évaluation énergétique comparative de toute la chaîne {EnR électrique – conversion/stockage H<sub>2</sub> – propulsion} avec l'alternative {EnR électrique – stockage par batteries électrochimiques performantes – propulsion} dans des BHNS (bus à haut niveau de service) pour le transport en commun en site propre** efficace, souple et 10 fois moins cher que le tramway en investissement pour les petites villes. Ce projet pourrait être porté par les laboratoires de recherche déjà cités, les départements du Haut-Rhin et du Territoire de Belfort, le land du Baden-Württemberg, les villes de Belfort, Colmar et Neuf-Brisach et les entreprises de transport public locales, sous l'égide de l'Ademe. Il implique de pouvoir tester les nouvelles batteries performantes conçues dans les laboratoires français, allemands, suisses et plus généralement européens (batteries Na-ion, Na-S, Fe-S, Zn-air, Redox-flow, etc.).

Le projet d'installation le long du Rhin de deux usines de batteries électrochimiques européenne pour véhicules électriques, porté par la France (700 M€ sur ) et l'Allemagne (1 G€ sur 4 ans) est à cet égard très positif et peut être un levier fort pour le stockage massif des EnR électriques variables, à condition que le mix énergétique des deux pays devienne plus vertueux, d'autres pays européens comme le Danemark, la Norvège, l'Autriche, la Suisse ou le Portugal étant beaucoup moins émetteurs de GES que l'Allemagne et la France.



## Références

- <sup>1</sup> *Contribution au Débat Public PPE. Vers un système énergétique efficace pour la France*, T. de Larochelambert, juin 2018, <https://ppe.debatpublic.fr/systeme-energetique-efficace-france>
- <sup>2</sup> *CNPE de Fessenheim. Etude d'impact socioéconomique et conséquences d'une éventuelle fermeture*, SYNDEX, mai 2012.
- <sup>3</sup> *Fessenheim : EDF prévoit un démantèlement étalé sur vingt ans*, Les Echos 01/03/2018.
- <sup>4</sup> Le récent rapport de la Cour des Comptes sur les coûts de la filière nucléaire en France évalue le coût d'un tel démantèlement à 277 M€<sub>2013</sub>/réacteur (Rapport de la Cour des Comptes : « *Le coût de production de l'électricité nucléaire. Actualisation 2014* », mai 2014).
- <sup>5</sup> EDF annonce des coûts de démantèlement de 350 à 500 M€<sub>2017</sub> par réacteur et estime à 60 G€<sub>2017</sub> le coût du démantèlement complet du parc nucléaire français actuel et ancien, <http://www.usinenouvelle.com/article/le-cout-du-demantelement-d-un-reacteur-nucleaire-selon-edf.N538534>
- <sup>6</sup> Les retours d'expérience de la plupart des énergéticiens européens et américains conduisent à des coûts de démantèlement moyen d'un réacteur entre 900 M€<sub>2017</sub> et 1,3 G€<sub>2017</sub> (*L'Europe face au fardeau du démantèlement nucléaire* - Le Monde 04.11.2017).
- <sup>7</sup> Décret 2016-846 du 28 juin 2016 relatif à la modification, à l'arrêt définitif et au démantèlement des installations nucléaires de base, ainsi qu'à la sous-traitance.
- <sup>8</sup> Guide de l'ASN n°6 – « *Arrêt définitif, démantèlement et déclassement des installations nucléaires de base* », août 2016.
- <sup>9</sup> Cf. Réf. 3 ci-dessus.
- <sup>10</sup> *Cycle du combustible nucléaire en France. Dossier « Impact Cycle 2016 »*, Rapport IRSN n° 2018-00007, 25 mai 2018.
- <sup>11</sup> [https://www.lemonde.fr/economie/article/2018/10/04/fermeture-de-la-centrale-de-fessenheim-le-gouvernement-presente-son-plan-de-reconversion\\_5364283\\_3234.html](https://www.lemonde.fr/economie/article/2018/10/04/fermeture-de-la-centrale-de-fessenheim-le-gouvernement-presente-son-plan-de-reconversion_5364283_3234.html)
- <sup>12</sup> Etudes ADEME : « *L'évaluation macroéconomique des visions énergétiques 2030-2050 de l'ADEME. Document technique* », octobre 2013 ; « *Mix électrique 100 % renouvelables à 2050. Évaluation macro-économique* », juin 2016.
- <sup>13</sup> Etude de la Heinrich-Böll-Stiftung : « *Transition énergétique : comment fait l'Allemagne* », Vincent Boulanger, avril 2017.
- <sup>14</sup> *Geoelektrische Sondierungskartierung zur Erkundung des westlichen Rheinseitendammes südlich angrenzend an das KKW Fessenheim (Frankreich)*, Bo-Ra-tec GmbH, Weimar, CLIS Fessenheim du 26 juin 2018.
- <sup>15</sup> « *En conséquence, les mesures ERT ne révèlent pas de nouvelles configurations potentiellement préjudiciables à la stabilité de la digue, pour lesquelles des reconnaissances complémentaires seraient nécessaires.* », EDF Centrale Nucléaire de Fessenheim, CLIS du 26 juin 2018.
- <sup>16</sup> *Centrale Nucléaire de Fessenheim : appréciation du risque sismique*, RÉSONANCE Ingénieurs-Conseils SA, septembre 2007.
- <sup>17</sup> *World Nuclear Exhibition*, Paris, juin 2018.
- <sup>18</sup> La CNPE de Fessenheim présente la fréquence d'incidents et de pannes la plus élevée du parc nucléaire français et détient un nombre record d'événements précurseurs (cf. *Courrier de l'ASN à Sylvia Kotting-Uhl, Députée au Bundestag*, 18 avril 2018).
- <sup>19</sup> Rappelons qu'EDF demande à l'Etat français une indemnisation minimale de 490 M€ pour « *dépenses de reconversion du personnel, de démantèlement, de taxe INB et de post-exploitation* », ainsi qu'une indemnisation supplémentaire variable « *reflétant le manque à gagner pour EDF jusqu'en 2041* » (Protocole d'indemnisation relatif à la fermeture de Fessenheim, communiqué de presse EDF, 24 janvier 2017).
- <sup>20</sup> *Nucléaire : Bruxelles juge la France mal préparée au démantèlement des centrales*, Les Echos, 23 février 2016.
- <sup>21</sup> *La transition énergétique du Danemark : un modèle de planification démocratique européen*, Thierry de Larochelambert, Les cahiers de Global Chance - N° 38 - janvier 2016, 17-55, <http://www.global-chance.org/IMG/pdf/gc38p17-55.pdf>
- <sup>22</sup> <https://www.dtu.dk/english/news/2018/06/make-bornholm-the-national-test-centre-for-new-energy-technology?id=dae51bd6-f41e-4781-8a8e-c2652dc33d35>
- <sup>23</sup> <https://www.energyplan.eu/smartenergysystems/>
- <sup>24</sup> *Étude potentiel et développement des énergies renouvelables en Alsace*, Energivie.info, ADEME, mars 2016.
- <sup>25</sup> *Walking and cycling: the economic benefits*, Transport For London, 2018,

---

<http://content.tfl.gov.uk/walking-cycling-economic-benefits-summary-pack.pdf>

- <sup>26</sup> CEER Benchmarking Report 5.2 on the Continuity of Electricity Supply Data update, Council of European Energy Regulators, Ref: C14-EQS-62-03, 12 février 2015.
- <sup>27</sup> PERFORM 60: Prediction of the effects of radiation for reactor pressure vessel and in-core materials using multi-scale modelling – 60 years foreseen plant lifetime, A. Al Mazouzi et al., Nuclear Engineering and Design 241 (2011) 3403– 3415.
- <sup>28</sup> réseau de chaleur de Chambéry, exploité par la SCDC, filiale de Engie Réseaux.
- <sup>29</sup> Les énergies de l'Alsace – Projet Alter, T. de Larochelambert, M. Pierre, C. Musch, F. Walgenwitz, Ed. Syros, 1983, 214 p.
- <sup>30</sup> Op. Cit. (réf. 24).
- <sup>31</sup> Dynamique autour du schéma Climat Air Energie Alsace, Région Alsace – Ademe, octobre 2015
- <sup>32</sup> Schéma Régional Climat Air Energie Alsace, Région Alsace – Ademe, juin 2012
- <sup>33</sup> La démarche « Transition énergétique » de la Haute-Alsace incluant le plan Climat Energie Territorial (PCET), Conseil Général du Haut-Rhin, 13 mars 2014
- <sup>34</sup> Rapport du SRADDET, décembre 2018.
- <sup>35</sup> Un scénario Énergies renouvelables pour l'Alsace, Alter Alsace Énergies (2013)
- <sup>36</sup> <https://www.aalborgcsp.com/projects/8mwth-solar-district-heating-plant-denmark/>
- <sup>37</sup> Plancher solaire direct mixte à double réseau en habitat bioclimatique (Double direct solar floor heating in bioclimatic habitation), T. de Larochelambert, Revue Générale de Thermique 34 (1995) 769–786.
- <sup>38</sup> Direct integration of solar heat into the space heating circuit, J. Glembin, T. Haselhorst, J. Steinweg, S. Föste, G. Rockendorf, Solar Energy 131 (2016) 1-20.
- <sup>39</sup> <http://arcon-sunmark.com/cases/vojens-district-heating>
- <sup>40</sup> <http://arcon-sunmark.com/cases/fjernvarme-silkeborg-danmark>
- <sup>41</sup> <https://www.aalborgcsp.com/projects/8mwth-solar-district-heating-plant-denmark/>
- <sup>42</sup> <http://tdelarochelambert.blog.lemonde.fr/2013/08/07/geothermie-profonde-versus-gaz-de-schiste/>
- <sup>43</sup> Schéma Régional des Énergies Renouvelables (SRER) – Etat des lieux de la filière « Géothermie » en Alsace, BRGM – ES géothermie (2010).
- <sup>44</sup> Adapting the French nuclear fleet to integrate variable renewable energies via the production of hydrogen: Towards massive production of low carbon hydrogen?, C. Cany et al., International Journal of Hydrogen Energy 42 (2017) 13339-13356.
- <sup>45</sup> Plan de déploiement de l'H<sub>2</sub>, DREAL Grand-Est, réunion hydrogène Colmar, 12 novembre 2018.
- <sup>46</sup> Filière hydrogène en région Grand-Est, DIRECCTE Grand-Est, réunion hydrogène Colmar, 12 novembre 2018.
- <sup>47</sup> Département du Haut-Rhin. Réunion d'échange autour du déploiement de l'hydrogène, Ademe, Colmar, 12 novembre 2018.
- <sup>48</sup> <http://ecpm.unistra.fr/recherche/institut-de-chimie-et-procedes-pour-lenergie-lenvironnement-et-la-sante-icpees-umr-7515/>
- <sup>49</sup> <https://www.uha.fr/la-recherche/laboratoires/laboratoire-de-gestion-des-risques-et-environnement-gre/>
- <sup>50</sup> <https://www.fraunhofer.de/en/research/fields-of-research/energy-resources.html>
- <sup>51</sup> <https://www.chemie.unibas.ch/index.php>
- <sup>52</sup> Extraction of hydrogen from fossil fuels with production of solid carbon materials, J. W. Halloran, International Journal of Hydrogen Energy 33 (2008) 2218-2224.
- <sup>53</sup> Review “Green” path from fossil-based to hydrogen economy: An overview of carbon-neutral technologies, N.Z. Muradova, T. N. Veziroglu, International Journal of Hydrogen Energy 33 (2008) 6804-6839.
- <sup>54</sup> H<sub>2</sub> production from methane pyrolysis over commercial carbon catalysts: Kinetic and deactivation study, International Journal of Hydrogen Energy 34 (2009) 4488-4494.
- <sup>55</sup> <https://www.femto-st.fr/fr/Departements-de-recherche/ENERGIE/Equipes-de-recherche/SHARPAC>