

L'EFFICACITE ENERGETIQUE DANS L'INDUSTRIE : VEROUS ET BESOINS EN R&D

MAI 2012

La consommation énergétique des procédés industriels et de la production d'utilités représente une part significative, estimée à 28 Mtep/an de la consommation énergétique française. Une amélioration de 20% à l'échéance 2020 est envisageable.

Pour atteindre cet objectif, cette étude dirigée par TOTAL et l'ADEME donne les clefs pour comprendre les mécanismes de l'émergence de nouvelles technologies moins énergivores, en particulier en identifiant les besoins et les verrous des différents acteurs en termes de R&D.

Synthèse

La consommation énergétique des utilités et des procédés transverses à tous les secteurs industriels représente une fraction significative, estimée à 28 Mtep/an, de la consommation énergétique française. Les progrès sur ces technologies sont de nature à améliorer l'efficacité énergétique en France et dans le monde, et contribuer à l'objectif des 20% à l'horizon 2020.

Pour mieux cerner les solutions indispensables à l'atteinte de cet objectif, la compréhension des mécanismes favorisant l'émergence de nouvelles technologies est essentielle et doit s'appuyer sur une identification des articulations entre les différents acteurs de la chaîne de valeur, de leurs attentes technologiques, des besoins et verrous en termes de R&D.

ENEA Consulting a réalisé à la demande de TOTAL et de l'ADEME une enquête nationale via des entretiens individualisés et un questionnaire en ligne. Plus de 600 professionnels ont témoigné, ce qui a permis de couvrir :

- Plus de 15 secteurs industriels
- Des équipementiers dédiés à tous les secteurs industriels
- L'ensemble des organismes concernés par ces questions (Fédérations, CCI, organismes de recherches, pôles de compétitivités...)

Une étude internationale complète cette vision française ; elle met en perspective les enjeux ressentis, et enrichit la génération d'idées pour faire évoluer le paysage industriel actuel vers des scénarios plus économes en énergie.

Quelles sont les conclusions principales de cette enquête ?

Au-delà des spécificités sectorielles, quatre thématiques soulèvent une large adhésion :

1. La réduction de la consommation électrique, ce qui élargit les champs de recherche au-delà des sujets récurrents tels que les pertes thermiques
2. L'amélioration des technologies transverses telles que les utilités (production de froid, air comprimé, etc.) qui représentent un levier de choix pour accroître l'efficacité énergétique
3. Le développement de capteurs et logiciels pour la gestion de l'énergie
4. La mise en place de systèmes de management de l'énergie au sein des entreprises

Plusieurs verrous majeurs freinent l'innovation :

- L'impact paradoxal des réglementations
- Les difficultés de financement et notamment des démonstrateurs
- Le manque de connaissance des marchés, pourtant nécessaire au lancement des programmes de R&D
- Le caractère parfois insuffisamment moteur de la demande en équipement innovant
- La difficulté de l'organisation et du montage d'un programme de recherche
- La mauvaise visibilité des innovations sur le marché industriel

Au-delà de ces composantes techniques ou structurelles, d'autres facteurs inhibent la dynamique de l'innovation en particulier au niveau des PME :

1. **le manque d'information** : le foisonnement des acteurs, des programmes de soutien à la recherche, et même des plateformes censées jouer le rôle d'agrégateur gêne les équipementiers, surtout les plus petits, pour identifier des partenaires, trouver les programmes de financement adaptés, puis se rendre eux-mêmes visibles auprès de leurs potentiels clients.
2. **Le manque de sensibilisation/formation** : dès qu'un travail de sensibilisation est réalisé, l'efficacité énergétique est perçue comme un enjeu économique et environnemental clé tant par les équipementiers que par les industriels exploitants et se traduit par des actions concrètes. Pour autant, cette sensibilisation est encore très marginale dans le tissu industriel français. L'information, voire la formation, sont donc des axes prioritaires pour dynamiser l'innovation et ouvrir les marchés qui en découlent.

Plus globalement, pour donner de l'impact à une politique d'efficacité énergétique, une dynamique d'ensemble doit être créée en imposant aux organismes concernés une coordination au niveau national des initiatives prises. Celles-ci peuvent être d'ordre technique (imposition des meilleures technologies disponibles, évolution des spécifications techniques), économique (réalisation d'études de marché, soutien en temps ou financement à différentes étapes de la démarche d'innovation), réglementaire (mesures incitatives ou coercitives) ou informative (annuaires de compétence, recueil sur les meilleures technologies disponibles...).

Tout cet ensemble de mesure doit être décliné au niveau régional et local : la proximité géographique avec les entreprises revient sans cesse comme un facteur multiplicateur indispensable pour toucher l'ensemble du tissu industriel du territoire.

L'efficacité énergétique dans l'industrie dans d'autres pays

L'étude de 4 pays (Allemagne, Norvège, Etats-Unis et Japon) a permis d'identifier les bonnes pratiques mises en œuvre. Certaines initiatives clef visent à toucher plusieurs maillons de la filière et ne concernent pas uniquement la R&D :

- La réalisation de benchmarks sectoriels pour orienter l'identification des meilleurs gisements d'économie
- L'appui à la réalisation d'audits énergétiques qui permettent d'identifier les mesures d'économies d'énergie les plus pertinentes, de sensibiliser aux questions énergétiques et d'impliquer la direction.
- L'octroi de financements ou de prêts bonifiés pour l'acquisition d'équipements performants énergétiquement

Enfin, les attentes manifestées par les acteurs en termes de programmes de soutien à l'innovation placent les projets collaboratifs en tête. Des aides à la mise en réseau afin de faciliter le regroupement de l'ensemble des compétences nécessaires au bon développement des projets de R&D sont vivement attendues par les acteurs. Les leviers identifiés concernent aussi bien le développement et l'utilisation de plateformes d'échange, l'organisation et la participation à des journées de rencontre, que la mise à disposition des réseaux industriels des organismes qui souhaitent soutenir l'innovation.

Plusieurs des propositions du groupe de travail « Entreprises : comment gagner en compétitivité » de la Table Ronde nationale pour l'efficacité énergétique, lancée en juin 2011 par le Ministère du Développement Durable, sont récemment venues appuyer les conclusions de cette étude. [2]

- *Le besoin de soutenir et de dynamiser la demande en équipement plus efficace* : l'une des propositions consiste à supporter les acteurs de la demande en incitant les entreprises à réaliser des opérations d'économies d'énergie en aidant l'acquisition d'équipements plus performants
- *Le besoin d'information relative à l'efficacité énergétique* : le groupe de travail propose la mise en ligne d'un site Internet dédié aux entreprises centralisant les informations relatives à l'efficacité énergétique (bonnes pratiques, meilleurs technologies disponibles, référencement des mécanismes de soutien...)

Table des matières

Synthèse	3
Introduction.....	7
Contexte.....	7
L'Offre	7
La Demande.....	8
Les périmètres étrangers.....	9
1 L'efficacité énergétique en France	10
1.1 La chaîne de valeur	10
1.2 L'efficacité énergétique : quelles préoccupations ?	11
1.2.1 Les fours.....	13
1.2.2 Les échangeurs thermiques	13
1.2.3 La récupération des pertes thermiques.....	14
1.2.4 Le stockage d'énergie thermique	15
1.2.5 Procédés de séchage	15
1.2.6 Les procédés de séparation	16
1.2.7 La cogénération	16
1.2.8 L'intégration énergétique des procédés.....	16
1.2.9 L'efficacité énergétique des utilités.....	17
1.2.10 Les énergies radiantes	17
1.2.11 Autres sujets mentionnés	18
1.3 R&D en efficacité énergétique	19
1.3.1 Activité et principaux freins dans l'industrie française	19
1.3.2 Analyse des besoins	19
1.3.3 Cartographie et perception des acteurs	19
1.3.4 Analyse des risques associés.....	20
1.4 Les verrous à l'innovation en efficacité énergétique.....	21
1.4.1 Normes et réglementations.....	21
1.4.2 Manque de visibilité du marché	21
1.4.3 Manque d'implication de la demande.....	22
1.4.4 Difficultés d'organisation de programmes collaboratifs.....	24
1.4.5 Difficultés de financement.....	25
1.4.6 Manque de visibilité des innovations sur les marchés	26
1.5 Programmes de soutien en France.....	26
1.5.1 Les principaux organismes de soutien	26
1.5.2 Les programmes de financement	27
2 L'efficacité énergétique à l'étranger	33
2.1 Etats-Unis	33
2.1.1 Les programmes de soutien.....	33
2.1.2 Les freins à l'innovation en efficacité énergétique	35
2.1.3 Conclusion.....	35

2.2 Allemagne	35
2.2.1 Les programmes de soutien.....	36
2.2.2 Les freins à l'innovation en efficacité énergétique	37
2.2.3 Conclusion.....	38
2.3 Japon.....	38
2.3.1 Les programmes de soutien.....	39
2.3.2 Les freins à l'innovation en efficacité énergétique	41
2.3.3 Conclusion.....	41
2.4 Norvège.....	42
2.4.1 Les programmes de soutien.....	42
2.4.2 Les freins à l'innovation en efficacité énergétique	44
2.4.3 Conclusion.....	44
2.5 Analyse croisée	45
2.5.1 Les technologies privilégiées	45
2.5.2 Les freins à l'innovation	46
Conclusions.....	47
Bibliographie.....	49
Contacts ADEME- TOTAL	51

Introduction

Contexte

L'avenir énergétique et le développement économique passent par des progrès technologiques dans tous les domaines de l'utilisation de l'énergie. En particulier, la consommation énergétique des utilities et des procédés transverses à tous les secteurs industriels représente une fraction significative, estimée à 28 Mtep/an, de la consommation énergétique française. Les progrès sur ces technologies sont de nature à contribuer à l'amélioration de l'efficacité énergétique en France et dans le monde et apporter un élément de réponse aux objectifs de l'Union Européenne à l'horizon 2020.

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre d'une étude réalisée par ENEA Consulting pour le compte de TOTAL et de l'ADEME. Il s'agit d'identifier les besoins en R&D, les verrous empêchant la mise sur le marché de technologies innovantes et les attentes des différentes familles d'acteurs. En diffusant ce document, TOTAL et l'ADEME souhaitent mettre à la disposition du plus grand nombre des éléments qui peuvent les aider à concevoir leur stratégie d'efficacité énergétique ou élaborer des programmes de recherche sur des équipements plus efficaces.

En outre, pour mieux percevoir les éventuelles spécificités françaises, l'analyse du contexte de quatre pays étrangers (Allemagne, Etats-Unis, Japon, Norvège) est également proposée.

L'enquête a été menée auprès de l'ensemble des acteurs (offre et demande) concernés par l'efficacité énergétique dans l'industrie. Plus de 600 professionnels ont répondu, permettant la prise en compte des points de vue complémentaires des fournisseurs et des utilisateurs de ces équipements, via :

- Une enquête qualitative auprès d'un panel de professionnels très diversifié (140 interviews)
- Une vaste enquête quantitative sur l'ensemble du territoire national et l'ensemble des secteurs industriels représentés en France (questionnaire diffusé, directement et indirectement, à des milliers d'acteurs de l'innovation en France, 488 réponses exploitables)

L'Offre

Du côté de l'offre, c'est-à-dire des entreprises, organismes ou groupements qui participent au développement, à la fabrication ou / et à la vente des nouveaux équipements, les acteurs ciblés sont :

- Les équipementiers
- Les installateurs
- Les ingénieries
- Les syndicats et fédérations des équipementiers, des installateurs et des ingénieries
- Les organismes de recherche
- Les pôles de compétitivité
- Les centres techniques industriels

Pour analyser statistiquement les différentes réponses, le périmètre technologique, dont la pertinence a été validée au cours des entretiens, comprend les équipements suivants :

- Fours
- Echangeurs de chaleur
- Récupération d'énergie thermique
- Stockage d'énergie thermique
- Equipements de séparation et de séchage
- Cogénération
- Intégration énergétique des procédés
- Efficacité énergétique des utilities, avec notamment :
 - Chaudières ; Systèmes mettant en œuvre la vapeur
 - Séparation des fluides
 - Systèmes de froid
 - Systèmes d'air comprimé
 - Ventilation
 - Pompage
 - Eclairage
 - Systèmes mettant en œuvre des fluides caloporteurs
 - Energies radiantes

La Demande

Les acteurs de la demande, c'est-à-dire du côté des entités ayant des besoins en équipements efficaces énergétiquement, sont également nombreux :

- Les industriels exploitants
- Leurs syndicats et fédérations
- Les associations et unions qui caractérisent chacun des secteurs industriels concernés

Par souci d'efficacité, cette étude se focalise sur les secteurs industriels responsables de 80% des consommations énergétiques françaises :

- Énergie (hors raffinage),
- Raffinage,
- Chimie,
- Pharmacie,
- Métallurgie (aluminium, fer, acier),
- Verre,
- Céramique,
- Matériaux de construction (ciment, béton, briques et tuiles),
- Industrie du papier et du carton
- Industrie agro-alimentaire,
- Textiles & Cuir,
- Fabrication de matières plastiques et de caoutchouc,
- Eau, déchets et environnement
- Construction de véhicules automobiles
- Transport,
- Construction mécanique
- Construction électrique et électronique
- Informatique et logiciels

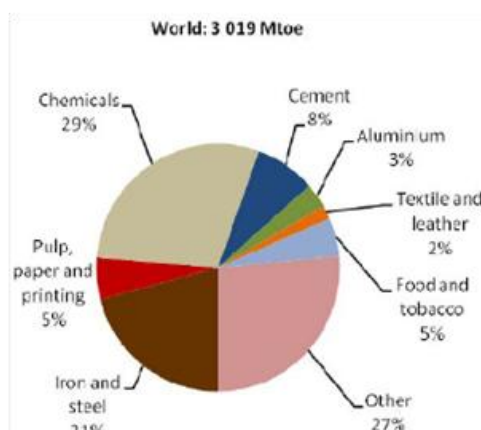


Figure 1 - Consommation d'énergie finale dans l'industrie dans le monde [1]

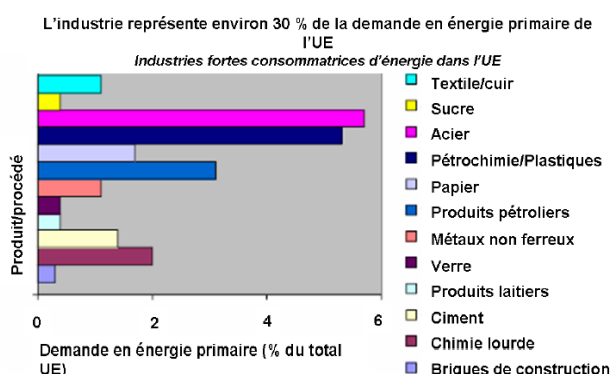


Figure 2 - Demande en énergie primaire dans l'industrie en Europe (UE)

Le secteur Énergie comprend dans cette étude uniquement les acteurs de la distribution et du soutien énergétique à l'industrie tels que GrDF, ErDF, TOTAL, Dalkia, Cofely etc.

Un secteur non industriel (conseil – administration – tertiaire) a également été intégré suite aux nombreuses réponses en provenance de ce secteur, et à la présence de problématiques d'efficacité énergétique industrielle tant dans leur offre et chez leurs clients.

Un total de 3543 organismes a été recensé, mais les sociétés ayant reçu le questionnaire ne se limitent pas à celles présentes dans cette base de données. De nombreuses plateformes d'information et d'organismes professionnels ont relayé l'étude au sein de leurs réseaux, pour un total de contacts évalué à plus d'une dizaine de milliers.

Les périmètres étrangers

Une enquête similaire, bien qu'allégée pour se concentrer sur les acteurs clés, a été conduite dans 4 pays représentatifs des efforts réalisés dans le monde dans le secteur de l'efficacité énergétique industrielle :

- Allemagne
- USA
- Japon
- Norvège

Il s'agissait surtout d'identifier les politiques et les axes de développement choisis, ainsi que les freins les plus importants au développement d'innovations en efficacité énergétique dans l'industrie de ces pays.

La plupart des acteurs identifiés sont des entités institutionnelles en charge de la politique générale de ces pays sur ce sujet (souvent à comparer avec l'ADEME, en France, par exemple). Peuvent être cités :

- Allemagne
 - Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) (la banque promotionnelle du gouvernement fédéral et des länder) et Deutsche Ausgleichsbank (DtA), notamment pour la réduction des taux d'emprunts aux projets innovants.
 - L'association Helmholtz, regroupement de 17 centres de recherche totalisant 33 000 collaborateurs
 - DENA (ou Deutsche Energie-Agentur), en quelque sorte l'ADEME allemand
- US
 - EERE : Office of Energy efficiency and renewable energy, bras armé du DOE en matière d'efficacité énergétique et porteur de l'industrial technologies program (ITP)
 - Etat Californien, entre autres états actifs pour l'environnement
 - ACEEE : American council for an Energy-Efficient Economy
 - CEE : Consortium for Energy Efficiency
 - Institute for electric efficiency, ainsi que l'American Gas Association
 - US Army
- Japon
 - METI : ministère de l'économie, de l'industrie et du commerce
 - NEDO : agence qui coordonne et soutient la R&D
 - ANRE : division au sein de la maîtrise de l'efficacité énergétique qui traite des actions à mettre en œuvre
 - ECCJ : rôle de communication entre toutes les entités de l'efficacité énergétique
- Norvège
 - Norsk industrie : fédération des industries norvégiennes
 - ENOVA
 - Government pension fund global
 - Norwegian oil association

1 L'efficacité énergétique en France

1.1 La chaîne de valeur

Le développement de nouveaux équipements résulte de nombreuses interactions entre tous les acteurs du paysage industriel français. Une mise en lumière des principales interactions a été réalisée :

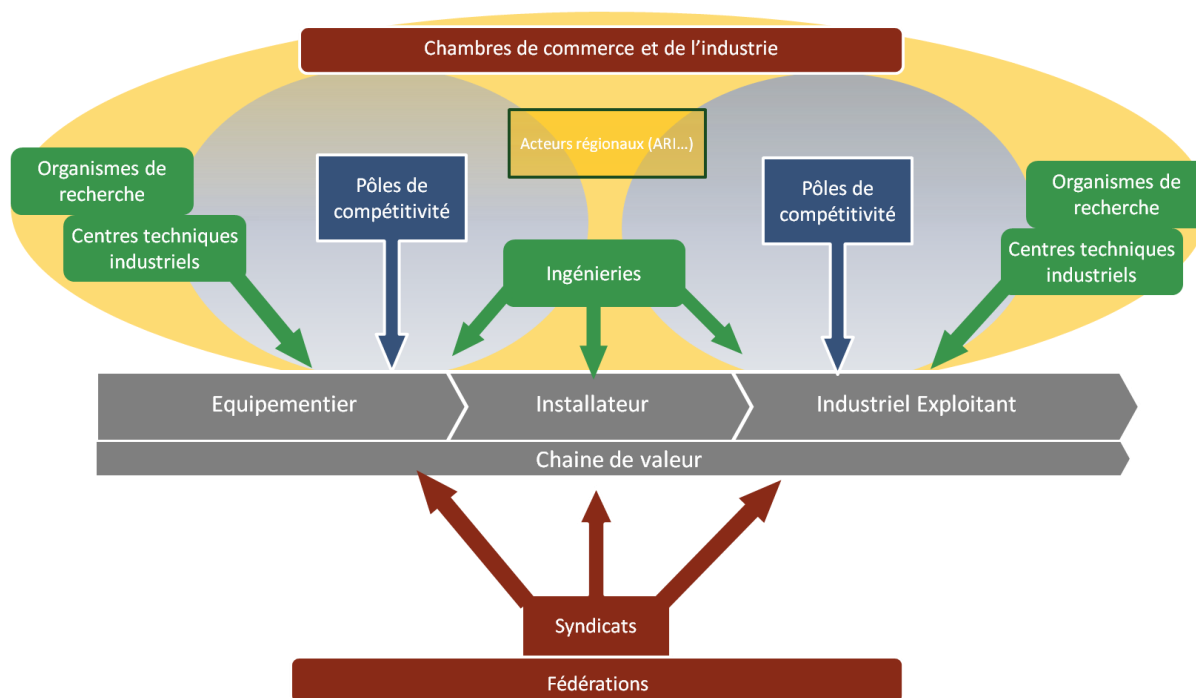


Figure 3 – Le soutien à l'innovation

Le cœur de la chaîne de valeur

- L'industriel Exploitant, principal moteur de la demande
- L'équipementier, qui doit pouvoir innover pour répondre aux besoins de l'industriel et être capable de proposer des produits différenciés.
- L'installateur qui intègre l'équipement chez l'industriel. La plupart des équipementiers intègrent eux-mêmes les équipements qu'ils proposent. Cette fonction est sinon assurée par les ingénieries.

Autour de cette chaîne de valeur gravitent d'autres organismes dont la vocation est d'assurer un soutien technique ou promotionnel, à l'échelle nationale ou régionale.

Le soutien technique

- Les ingénieries, vecteur d'information entre l'offre et la demande, assistent l'industriel dans la définition de son besoin, et challengent les équipementiers via la définition des spécifications techniques. La réalisation d'études techniques leur permet de faire transmettre aux équipementiers les besoins des industriels, et de faire remonter à ces derniers les récentes avancées techniques. Leur exposition au risque pousse néanmoins les ingénieries à adopter préférentiellement des technologies matures dans les conceptions qu'elles proposent.
- Les pôles de compétitivité catalysent la coopération entre entreprises, centres techniques, organismes de recherche, établissements de formation supérieure et organismes publics. Leur objectif premier est de renforcer la compétitivité de l'industrie française, notamment via l'apport d'aides techniques et financières.
- Les organismes de recherche, germe des innovations, peuvent apporter un soutien technique aux développements opérationnels.
- Les centres techniques industriels, en collaboration avec les organismes de recherche, apportent l'expertise opérationnelle et réalisent les expertises techniques, avec l'efficacité permise par la mutualisation des moyens de développement et de tests (plateformes, laboratoires).

Le soutien promotionnel

- Les chambres de commerces et de l'industrie défendent les intérêts économiques des entreprises et mettent en place des actions promotionnelles collectives (forums, salons, missions à l'étranger...).
- Les syndicats et les fédérations ont un double rôle de transfert d'information et de lobby, chacun à son niveau (spécialité ou filière respectivement)

Les relais régionaux

A l'échelle régionale, les ARI, CDT, CRT ou encore CRIIT ont pour objectif d'accompagner les acteurs de l'innovation en s'appuyant sur des relations de proximité : aide au pilotage de projet, à la communication, à l'apport d'information, ou au montage de dossiers de candidature à des programmes d'aides français et européens. Ils sont en lien avec tous les autres acteurs de l'innovation pour en être les relais locaux, avec une pertinence et une efficacité reconnues. Leurs capacités sont pourtant encore sous-utilisées aujourd'hui.

Avec un point de vue plus macroscopiques sur les sujets techniques, les CCI et les antennes régionales d'institutions comme l'ADEME jouent aussi ce rôle de relais. Aux niveaux régionaux, on trouve encore :

- Les pôles de compétitivité
- Les centres techniques industriels
- Les centres régionaux d'OSEO

Des opérations collectives de financement de diagnostics énergétiques, mise en réseaux et formation sont régulièrement organisées sur le territoire français avec un soutien financier de l'ADEME et des régions. Des opérations individuelles de diagnostics énergétiques sont également financées. Chaque année environ 1000 études sont aidées financièrement par l'ADEME (aides à la décision efficacité énergétique industrie et agriculture)

La mise en place d'un système similaire aux LEEN¹ en Allemagne ou à l'ITP² aux Etats-Unis (voir **L'efficacité énergétique à l'étranger**) est envisageable avec un financement spécifique pour réaliser les diagnostics énergétiques nécessaires et encadrer la réflexion des membres du réseau dans le cadre de réunions régulières. Ces mécanismes représentent un levier intéressant pour développer l'efficacité énergétique dans l'industrie en France si l'on se réfère aux résultats constatés en Suisse et en Allemagne (réduction des consommations énergétiques 2 à 3 fois supérieures aux moyennes nationales).

1.2 L'efficacité énergétique : quelles préoccupations ?

Les entreprises ou organismes professionnels impliqués sur des sujets liés à l'efficacité énergétique ont des préoccupations différentes en fonction de leur domaine d'activité. Cette partie a pour objectif de mieux cerner :

- Les énergies pour lesquelles les acteurs souhaitent être plus économes
- Les postes de consommation et les technologies précises qui suscitent une attente particulière

Les principales initiatives viennent de deux types de secteurs : les secteurs où la facture énergétique prend une part significative dans le coût des produits, et ceux dont le sujet a été suffisamment négligé jusqu'ici pour receler des gisements d'économie significatif dans l'absolu, même si la part relative de l'énergie est relativement faible.

Types d'énergie

Une analyse globale montre une préoccupation prépondérante liée à la consommation d'électricité (51% des répondants) et de gaz (38% des répondants). Dans une moindre mesure sont mentionnés les produits pétroliers, le charbon, le coke et la biomasse.

¹ Local Energy Efficiency Network

² Industrial Technologies Program

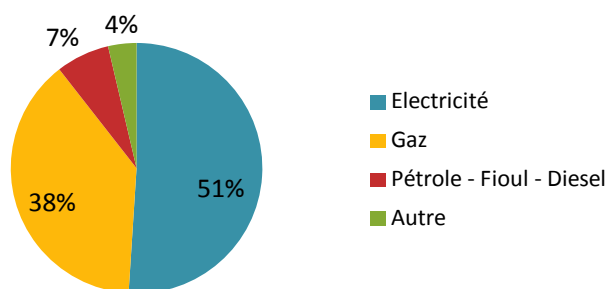


Figure 4 – Énergies sur lesquelles les industriels/exploitants souhaiteraient être plus efficaces

Ces préoccupations reflètent bien la consommation énergétique française, tant en terme de volumes que de coûts de l'énergie. Bien que l'électricité ne compte que pour 28% de la consommation brute d'énergie dans l'industrie française (d'après le tableau 1), son coût élevé par rapport aux combustibles en fait un sujet de préoccupation majoritaire.

Consommation brute de l'énergie dans l'industrie française en 2009		
	<i>en ktep</i>	<i>En %</i>
Gaz de réseau	10 639	31%
Electricité	9 529	28%
CMS <i>Combustibles minéraux solides</i>	5 193	15%
Produit pétrolier	4 344	13%
ENR	1 959	6%
Vapeur	1 783	5%
CSNR <i>Combustibles spéciaux non renouvelables</i>	381	1%
CUMUL	33 828	100%

Tableau 1 – Répartition de la consommation d'énergie brute dans l'industrie française (base 2009) [2]

<i>Prix Moyen c€/kWh PCI (Hors TVA)</i>	<i>Moyenne industrie</i>	<i>Grande Industrie</i>
Gaz Naturel	4,56	4,13
Fuel Lourde (base teneur en S<1%)	4,88	4,88
Electricité (prix de base)	7,04	6,21

Tableau 2 – Prix moyen d'acquisition des énergies dans les moyennes et grandes industries (base 2011) [3]

Dans l'analyse de ces préoccupations, il faut tenir compte des informations limitées sur leurs consommations énergétiques auxquelles les industriels peuvent parfois avoir accès faute d'instrumentation appropriée. Ce manque d'information limite d'ailleurs également leurs actions d'efficacité (réductions de consommations, évolutions comportementales, adoption / développement de nouvelles technologies). Un pan significatif de la filière efficacité énergétique concerne donc les équipements de mesure et les méthodes d'analyse et de reporting des consommations.

Le travail d'analyse des résultats de l'enquête nationale a permis de déterminer et hiérarchiser les technologies qui impactent le plus la facture énergétique des industriels³.

³ Interprétation des statistiques : les statistiques présentées dans les paragraphes ci-après, structurées par typologie de technologie, doivent être interprétées avec prudence. En effet, elles reposent sur les réponses de l'intégralité du panel de répondants, mais les acteurs de l'offre se positionnent préférentiellement comme « travaillant sur une technologie », tandis que les acteurs de la demande se prononcent davantage sur l'« impact sur la facture énergétique » de la technologie au sein de leur activité. C'est pourquoi l'analyse a essentiellement été menée en relatif, en comparant la situation des différents secteurs entre eux d'une part, et des différentes technologies entre elles d'autre part.

1.2.1 Les fours

Forte consommation énergétique, mais peu de recherche

La consommation due aux fours est un sujet de préoccupation majeur dans les secteurs de la transformation :

- Verre et céramique : 81% des acteurs du secteur ayant répondu à l'étude
- Métallurgie : 40%
- Papier : 25%
- Agro-alimentaire : 18%
- Matériaux de construction : 19% - dans ce secteur, quasi-unanimité du secteur du ciment, leurs activités étant de loin les plus énergivores du secteur (le secteur du béton étant lui très peu concerné)

Malgré l'intensité énergétique de cette famille d'équipement, peu de recherche vise à en améliorer l'efficacité énergétique, sujet déjà largement traité par l'industrie. Quelques entreprises ont toutefois déclaré travailler sur l'amélioration de leur rendement par :

- L'efficacité de la combustion
- Le préchauffage des combustibles ou le préchauffage d'air
- La substitution des combustibles
- Les flux d'air (excès, CO, NO₂...)

Pour ces différents secteurs d'activité, les fours utilisés et les technologies déployées varient :

Secteur d'activité	Quelques types de Four
Verre et céramique	Four à haute capacité : four à bassin pour la fusion du verre (combustible : gaz, fuel et électrique) Four à moyenne et faible capacité : four à pots ou four journalier Four à tunnel pour le séchage des céramiques
Métallurgie	Four rotatif de fusion Four à induction et à creuset Four de maintien Four à arc électrique
Papier	Four à tunnel pour le séchage du papier (électricité gaz) Four à chaux dans le cas de l'utilisation du procédé Kraft (gaz)
Agro alimentaire	Four de cuisson électrique Four de cuisson à combustible
Matériaux de construction	Four à procédé humide (Coke charbon et Combustible de substitution) Four à procédé sec (Coke charbon et Combustible de substitution)

Tableau 3 – Exemples de type de Four en fonction du secteur industriel

Cas particuliers

- Secteur textile : recherche pour le remplacement de fours à gaz par des fours à UV, micro-ondes ou plasma
- Secteur agro-alimentaire : gros potentiel d'amélioration via des fours à induction par exemple, limité par des situations de monopole (boulangerie par exemple) de fournisseurs de fours classiques

1.2.2 Les échangeurs thermiques

Un sujet de préoccupation très transverse

Tous les secteurs interrogés sont concernés, avec en particulier :

- Papier : 46%
- Agro-alimentaire : 34%
- Chimie, raffinage et pharmacie : 27%
- Verre et céramique : 17%
- Matériaux de construction : 19%

La recherche pour améliorer l'efficacité de ces équipements suit une tendance sectorielle similaire, avec en sus une forte activité transverse menée par des équipementiers et ingénieries. Les points d'amélioration technique visent :

- Les coefficients de transfert
- Les conditions opératoires
- La durée de vie
- La distribution des fluides
- Les matériaux
- La modularité, la compacité et le poids de l'équipement
- Le nettoyage et le monitoring

1.2.3 La récupération des pertes thermiques

Des problématiques couplées à celles des échangeurs

La problématique de la valorisation d'énergie thermique se rapproche de celle des échanges thermiques, les deux problèmes étant souvent couplés. Les secteurs concernés sont similaires :

- Papier : 46%
- Raffinage – Chimie – Pharmacie : 24%
- Bâtiment – Construction – Matériaux : 19%

Viennent ensuite dans des proportions équivalentes les autres secteurs (énergie hors raffinage, verre et céramique, métallurgie, agroalimentaire, caoutchouc-plasturgie, eau-déchets-environnement et automobile-transport-mécanique).

Le Tableau 4 présente les pistes de gisements de flux les plus représentatifs.

Secteur d'Activité	Gisement de flux thermiques identifiés
Agro-alimentaire	Air chaud et humide sortant des fours de séchage de fruits. Quantité selon taille du four.
Bâtiment - Construction – Matériaux	Exhaust refroidisseur (220°) Exhaust four (95°)
Caoutchouc et Plasturgie	L'énergie dégagée par la transformation des caoutchoucs.
Activité Transverse	Chaleur fatale des effluents liquides en agro par exemple (issue des fluides process et de nettoyage) et récupération de chaleur sur groupes froids
Métallurgie	Récupération d'énergie sur les fours de fusion gaz
Eau - Déchet – Environnement	Les eaux usées rejetées dans les réseaux urbains sont généralement à une température moyenne de 12 degrés, toute l'année.
Tertiaire, Administration, Conseil	La chaleur dégagée par le fonctionnement même des machines
Activité transverse	Récupération thermique sur la production d'air comprimé
Raffinage – Chimie – Pharmacie	Récupérer les calories des opérations de distillation pour préchauffer des fluides calo-porteurs ou autres, ...
Energie et Procédé	Chaleur issue de la méthanisation pas systématiquement récupérée à 100%
Métallurgie	Fumées très chaudes liées au procédé de fusion. Température: 300-400°C Volume: 30 000 N/m3 heure
Eau - Déchet – Environnement	Chaleur en fermentation par voie biologique
Activité Transverse	Eau de refroidissement
Papier	Station d'épuration 4500 m3 à 20°C en moyenne sur l'année, calories rejetées à l'atmosphère etc.
Eau - Déchet – Environnement	Biogaz produit par les boues d'eaux usées, cogénération, chaleur récupérée des boues séchées, turbine hydraulique sur eaux usées, chaleurs récupérées dans les égouts par pompes à chaleur, chaleur provenant de four d'incinération, ORC etc.
Métallurgie	Température de l'air en sortie d'oxydeurs COV
Métallurgie	Refroidissement des gaz chauds du four par adjonction d'air extérieur : beaucoup de calories sont perdues.
Métallurgie	Solides chauds sortant des opérations de forge, coulée, etc. Gaz ou liquides de refroidissements de process (h2n2, air, eau, etc.). Fumées de fours.
Activité Transverse	Energie pneumatique (vérins), récupération d'énergie sur des décélérations de moteurs
Agro-alimentaire	Gaz chaud sur les condenseurs évaporatifs
Verre et Céramique	Récupération d'énergie dans les eaux de refroidissement de process des fours verriers

Tableau 4 – Exemples de gisements de flux thermiques identifiés par les acteurs

1.2.4 Le stockage d'énergie thermique

Des technologies fondamentalement transverses en forte demande

Les principaux secteurs pour lesquels le stockage d'énergie a une influence sur la facture énergétique sont :

- L'Énergie (hors raffinage) avec 12% des acteurs
- Le secteur « Bâtiment-Construction-Matériaux » avec 11% des acteurs

Ce sont également ces deux secteurs, ainsi que celui de la métallurgie, qui paraissent être les plus actifs sur ce sujet. Le gros de l'activité de développement de technologies de stockage d'énergie thermique est cependant transverse via des équipementiers et ingénieries. Les points d'amélioration visés par les projets sont :

- La finalité fonctionnelle du stockage (restitution électrique ou thermique)
- Le temps de restitution énergétique
- La récupération d'énergie captée au sein d'un procédé intégré
- L'énergie spécifique de stockage (volumique/massique)

Le Tableau 5 présente quelques technologies en développement sur le stockage d'énergie thermique :

	Stockage de Froid	Stockage de chaleur
Type de technologie	Glace, liquides cryogéniques ...	Sels fondus, accumulateurs de vapeur, graviers, matériaux à changement de phase, céramique, géothermie...
Exemple d'application	Bâtiment tertiaire ou industriel : climatisation, entrepôt frigorifique...	Couplage énergie solaire, paroi inertielle, réseau de chaleur etc....

Tableau 5 – Quelques technologies de stockage thermique froid et chaud

1.2.5 Procédés de séchage

Des besoins forts dans des secteurs ciblés

Les procédés de séchage n'ont d'influence sur la consommation énergétique que pour un nombre limité de secteurs industriels.

- Papier : 78%
- Eau-Déchet-Environnement : 20%
- Bâtiments – Construction – Matériaux : 15%
- Chimie – Raffinage – Pharmacie : 15%
- Agroalimentaire : 15%

La consommation énergétique de l'opération séchage est estimée à 42 TWh/an dans l'industrie française, ce qui représente 9 % de la consommation industrielle [4]. La Figure 5 présente la répartition des consommations d'énergie liées au séchage par secteur industriel et montre que l'intérêt ressenti n'est pas complètement en phase avec les consommations réelles des secteurs cités.

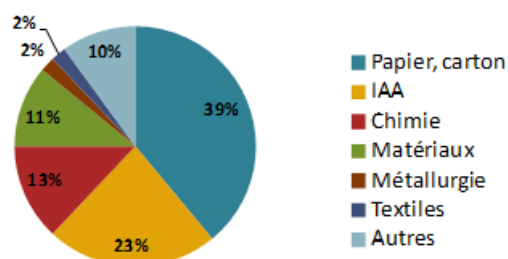


Figure 5 – Répartition des consommations d'énergie liées au séchage par secteur industriel [4]

La recherche sur ces équipements est portée par les secteurs concernés, exception faite du papier où les efforts de recherche sont encore très faibles faute de développeurs de technologie dédiés.

Technologies particulières :

- Les infrarouges pour le séchage du papier
- Les UV pour le séchage des encres d'impression
- Le séchage sous vide (zéodratation) pour l'agro-alimentaire (température opératoire plus faible que pour la lyophilisation, divisant la puissance nécessaire par 3)

1.2.6 Les procédés de séparation

Des besoins forts dans des activités ciblées

Les consommations d'énergie liées à la séparation ont un impact très divers sur la consommation énergétique. Très élevés pour certains secteurs tels que la chimie, le raffinage, ce coût n'est pas le plus souvent prépondérant. Quelques secteurs indiquent devoir s'en préoccuper :

- Eau – Déchet – Environnement : 16 %
- Chimie – Raffinage – Pharmacie : 10%
- Verre et des matériaux de construction dans une moindre mesure

Des améliorations sont cependant en cours de développement dans la plupart des secteurs industriels, des synergies étant possibles avec les autres secteurs pour ces technologies transverses. Les principaux axes de recherche sont :

- La simplification des schémas de séparation
- Le développement de nouvelles technologies de séparation, membranaires ou hybrides notamment
- Les technologies mettant en œuvre les champs électriques pulsés

1.2.7 La cogénération

Un moyen efficace de réduire les factures énergétiques

Les développements de technologies de cogénération intéressent la plupart des secteurs industriels et des fournisseurs de technologie transverses. Les plus directement concernés sont :

- Le secteur du papier et carton (réduction du coût de production de la vapeur)
- L'eau – Déchet – Environnement, avec l'utilisation de combustibles de substitution comme le biogaz en station d'épuration
- L'énergie (hors raffinage), principalement pour la production d'électricité et de chaleur dédiée aux industriels et aux collectivités

Les points d'amélioration sur lesquels portent les développements actuels sont :

- L'efficacité globale du système
- La nature des combustibles
- Le rendement des turbines, notamment avec l'optimisation de la température des fumées
- La proposition de schémas innovants

L'intégration de ces technologies dans des procédés particuliers, ou avec des systèmes de pompes à chaleur, sont également regardés de près par les développeurs de technologie.

1.2.8 L'intégration énergétique des procédés

Une problématique commune, mais des développements très spécifiques à chaque cas

L'intégration énergétique des procédés est un sujet totalement transverse. De nombreux opérateurs, équipementiers ou ingénieries travaillent sur ce type d'approche. Mais du fait de la spécificité de chaque procédé, une solution parti-

culière doit être trouvée dans chaque cas, même si des méthodes communes permettent d'identifier ces solutions rapidement et efficacement.

Les principaux points communs de développement qui ont été mentionnés sont :

- L'analyse exergetique (d'autant moins connue que l'on s'éloigne du monde académique pour se rapprocher des instances opérationnelles)
- Le déploiement de la méthode du pincement (à développer dans les PME)
- La facilitation de l'intégration thermique des procédés

Ces méthodes doivent encore être vulgarisées et diffusées pour représenter un vrai levier sur la consommation énergétique de l'industrie française.

1.2.9 L'efficacité énergétique des utilités

Une source importante et récurrente d'économies d'énergie

- La métallurgie (22%)
- L'agroalimentaire (22%)
- Le papier (15%)
- L'énergie (16%)
- Le Raffinage – Chimie – Pharmacie (13%)

Les principales utilités sur lesquelles doivent se porter les efforts de recherche sont les suivantes :

- Les réseaux de vapeur
- L'eau déminéralisée et l'eau de service
- L'air instrument, généralement utilisé dans les réseaux 7 bar (vérification de l'intégrité du réseau, utilisation de compresseurs performants, contrôle de l'adéquation entre niveau de compression et niveau de pression réellement utilisée...)
- Le froid (crucial dans l'agro-alimentaire et la distribution), à deux niveaux thermiques :
 - Frais ou froid positif (exemple d'application : stockage de produit frais)
 - Congélation ou froid négatif (exemple d'application : surgélation des aliments)

Pour y parvenir, de gros efforts portent actuellement sur la modélisation et le contrôle avancé des procédés, notamment via la gestion des variations de capacité, l'optimisation des marches à vide et des modes d'attente produit. Dans certains secteurs, les outils de mesure adaptés semblent être encore à développer.

Au-delà des outils de contrôle, les travaux sur les moteurs sont également prioritaires, avec :

- Les moteurs à vitesse variables
- L'amélioration du rendement des moteurs et turbines

1.2.10 Les énergies radiantes

Des gains prometteurs sur des marchés de niche

Du fait du caractère particulièrement innovant de ces technologies, les entreprises qui les développent ou les utilisent sont encore très peu nombreuses. Les techniques qui peuvent être utilisées au niveau industriel sont les ultraviolets (UV), les infrarouges (IR), les hautes fréquences (HF) et les micro-ondes (MO). Elles sont très prometteuses sur certaines applications.

- Le transfert énergétique direct est entre la source et le produit à traiter, ce qui limite les inconvénients des technologies traditionnelles
- Les densités de puissance en surface (UV et IR) ou en volume (HF et MO) sont beaucoup plus élevées
- La focalisation et la concentration de l'énergie uniquement sur la zone utile sont possibles
- Ces énergies possèdent une faible inertie thermique et des marges de variation de puissance élevées. Elles sont donc parfaitement adaptées à des processus de régulation optimisés. La régulation optimisée est, comme vu précédemment, l'une des voies de développement sur lesquelles travaillent les acteurs en termes d'intégration thermique des procédés.

- Le couplage avec des procédés plus classiques, comme la convection d'air chaud, est possible et souvent performant car il permet l'optimisation des lignes de production existantes.

Les principaux points d'amélioration visés sont :

- Les micro-ondes (40%)
- Les autres énergies radiantes (UV, Ultra-sons)

Si l'usage de ces technologies est loin d'être généralisé, certaines ont su conquérir les marchés pour des applications spécifiques telles que :

- le séchage du papier sous infrarouge
- les sécheurs à UV des installations d'impression
- les unités de vulcanisation du soufre à micro-ondes dans le domaine de la plasturgie

Il reste encore à valoriser ces techniques dans ces secteurs où elles ont déjà fait leurs preuves ainsi qu'à favoriser leur transfert sur des opérations transverses à plusieurs secteurs (séchage, polymérisation...).

Applications	Infrarouge	UV	Micro-onde	Haute fréquence
AGROALIMENTAIRE				
<i>Biscuiterie, boulangerie, pâtisserie</i>	Grillage, toastage, Torréfaction Blanchiment		Décongélation, tempérage Chauffage, traitement thermique	Décongélation, tempérage, Cuisson
<i>Fruits et légumes, épices, plantes</i>	Séchage, déshydratation Grillage, toastage, torréfaction		Décongélation, tempérage Décontamination, désinsectisation	Séchage, déshydratation Pasteurisation
PAPIER				
<i>Papier - carton en l'état</i>	Séchage, déshydratation Polymérisation, thermofixation Enduction		Enduction	Séchage, déshydratation Polymérisation, thermofixation Enduction
<i>Articles en papier – carton</i>	Séchage, déshydratation Chauffage, traitement thermique Collage Polymérisation, thermofixation Formage, moulage, grainage Enduction		Préchauffage	Préchauffage Polymérisation, thermofixation Enduction
<i>Impression, enduction</i>	Chauffage, traitement thermique Expansion, moussage Flockage Vernissage, peinture, impression			Collage Soudage
PLASTURGIE				
<i>Pièces techniques</i>	Thermoformage Collage Soudage	Vernissage Activation de surface		
<i>Revêtements de sols</i>	Vernissage Enduction Polymérisation (plastisol) Moussage ...	Vernissage, impression		

Tableau 6 – Exemples d'applications envisageables pour les énergies radiantes

1.2.11 Autres sujets mentionnés

Le Tableau 7 ci-dessous résume les autres sujets spécifiques mentionnés par les acteurs durant cette phase de questionnaire, pour lesquels ils aimeraient être plus efficaces.

Type d'acteur	Autres sujets de recherche en EE
Industriel/Exploitant	Traitement des COV – Amélioration énergétique du procédé ou récupération d'énergie thermique
Industriel/Exploitant	
Ingénierie, CTI	Mesure, pilotage intelligent des consommations (Energy management)
Industriel/Exploitant	Vulcanisation par cuisson dans des moules de presses injection –compression Chauffage des Moules pour production de Pièces Caoutchoucs+ Presses injection-compression Hydrauliques
Équipementier	Brûleurs gaz très pauvres sans soutien en gaz riche (=oxydateur thermique)
Équipementier	Aimants destinés aux rotors des génératrices et des moteurs à aimants permanents (commandés électroniquement, très adaptés aux transitoires).

Ingénierie/Équipementier	Pompe à Chaleur Haute Température
Organisme de recherche	Energie thermique des fermentations et procédés de vinification
Ingénierie/Conseil	Remplacement des bains de sels fondus par des bains fluidisés de particules réfractaires
Industriel/Exploitant	Déshumidification de l'air HVAC par batterie froide (compresseur frigorifique)

Tableau 7 – Exemples d'autres sujets technologiques abordés par les acteurs

1.3 R&D en efficacité énergétique

1.3.1 Activité et principaux freins dans l'industrie française

55% des équipementiers, toutes tailles confondues, ont investi en 2010 pour améliorer l'efficacité énergétique des équipements qu'ils proposent : au-delà d'être un facteur différenciant, cela répond à une réelle attente des industriels puisque 58% ont déclaré avoir investi en 2010 pour réduire leur consommation d'énergie.

Le principal obstacle ressenti par les industriels est le surcoût lié à ces équipements innovants, mais 75% déclarent être prêt à payer plus cher des équipements moins énergivores grâce aux économies qui seront générées par la suite. Les temps de retours jugés acceptables sont en revanche souvent très courts, les investissements nécessaires étant mis en regard d'autres investissements envisageables pour la société : souvent de trois ans maximum, ils peuvent parfois même devoir être inférieurs à 2 ans.

Les principaux freins rencontrés lors du développement d'activité de R&D en efficacité énergétique sont :

- L'absence de technologie satisfaisante : 12%
- Le manque d'information : 25%
- Le manque de moyens : 34 %

Un vrai travail doit être fait sur l'accès à l'information, que les nombreux entretiens ont permis de préciser :

- Pour les équipementiers, les orientations R&D sont difficiles à définir car les besoins des ingénieries et des bureaux d'étude sont mal connus
- Les programmes de recherche en cours et les technologies déjà développées sont mal connus : il y a donc un fort risque de redondance
- Les programmes de subvention disponibles sont mal connus et mal utilisés

1.3.2 Analyse des besoins

Pour augmenter l'activité liée à l'efficacité énergétique, 5 solutions ont été largement plébiscitées lors de l'enquête.

- Proposer des formations sur l'efficacité énergétique aux industriels : 91% des répondants
- Mieux informer sur les meilleures technologies disponibles : 98%
- Imposer les performances de la meilleure technologie disponible comme la norme future : 70%
- Financer des études de marché pour orienter la recherche : 73%
- Faire évoluer les spécifications techniques demandées par les acheteurs : 70%

1.3.3 Cartographie et perception des acteurs

Pour répondre à ces besoins, chaque acteur va chercher dans son écosystème l'organisme qui lui semblera le plus à même de lui apporter un soutien. La perception de chaque type d'organisme (décrits dans la partie La chaîne de valeur^{1.1}) par le reste de la chaîne de valeur a donc été étudiée, de manière à savoir vers qui chacun va se tourner préférentiellement lorsqu'il cherche un soutien technique ou un soutien financier.

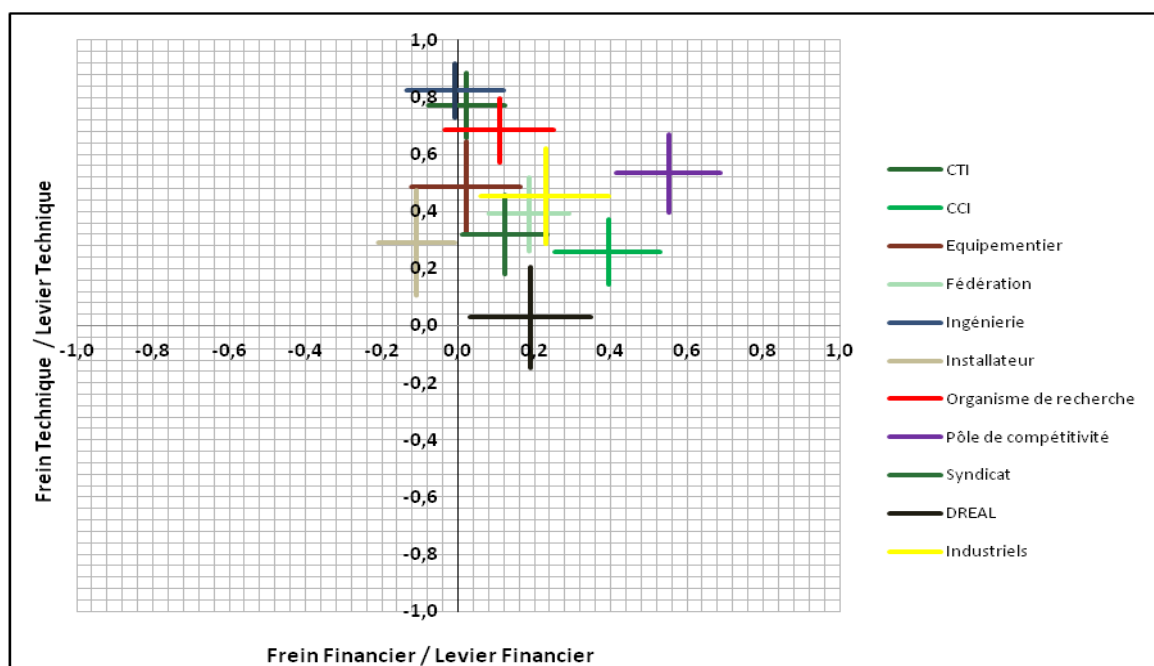


Figure 6 – Perception moyenne de chaque acteur par les autres acteurs

Les pôles de compétitivité sont donc très bien perçus, la plupart des acteurs choisissant de s'orienter vers eux pour un accompagnement à leurs programmes de recherche. Il est cependant clair que d'autres organismes, les ingénieries, CCI et organismes de recherche, sont également jugés très utiles dans la recherche technique d'innovation.

1.3.4 Analyse des risques associés

La Figure 7 présente les différents risques anticipés lors du développement d'une innovation en efficacité énergétique. **Le coût de financement d'un démonstrateur est le risque le plus important identifié.** Contrairement à ce qui pourrait être attendu, le risque culturel (réticence à l'innovation) est ensuite prépondérant sur les risques technologiques. Les risques méthodologiques, de perte de propriété intellectuelle et de diminution de la fiabilité ou de la flexibilité globale du procédé, restent minoritaires.

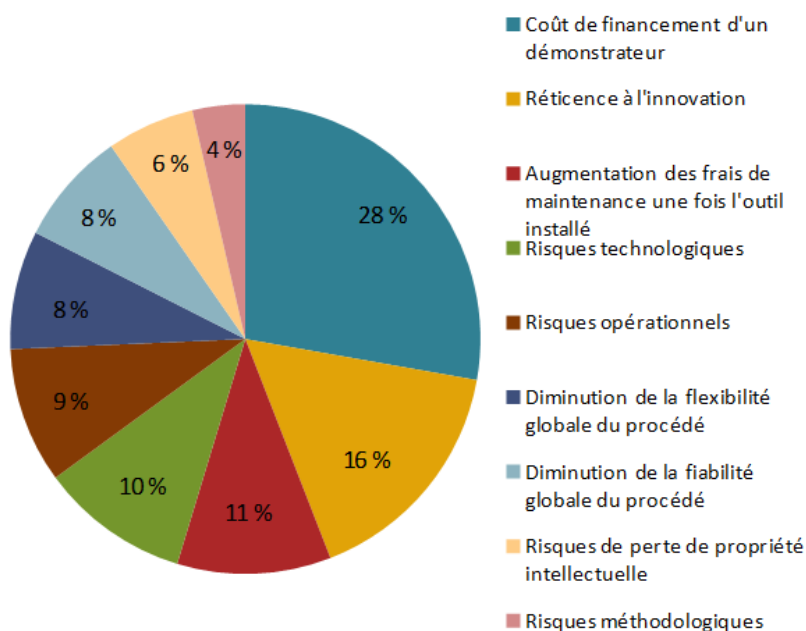


Figure 7 – Importance relative des risques anticipés lors du développement d'un projet en efficacité énergétique

1.4 Les verrous à l'innovation en efficacité énergétique

La Figure 8 synthétise les différents verrous identifiés au cours de cette étude.

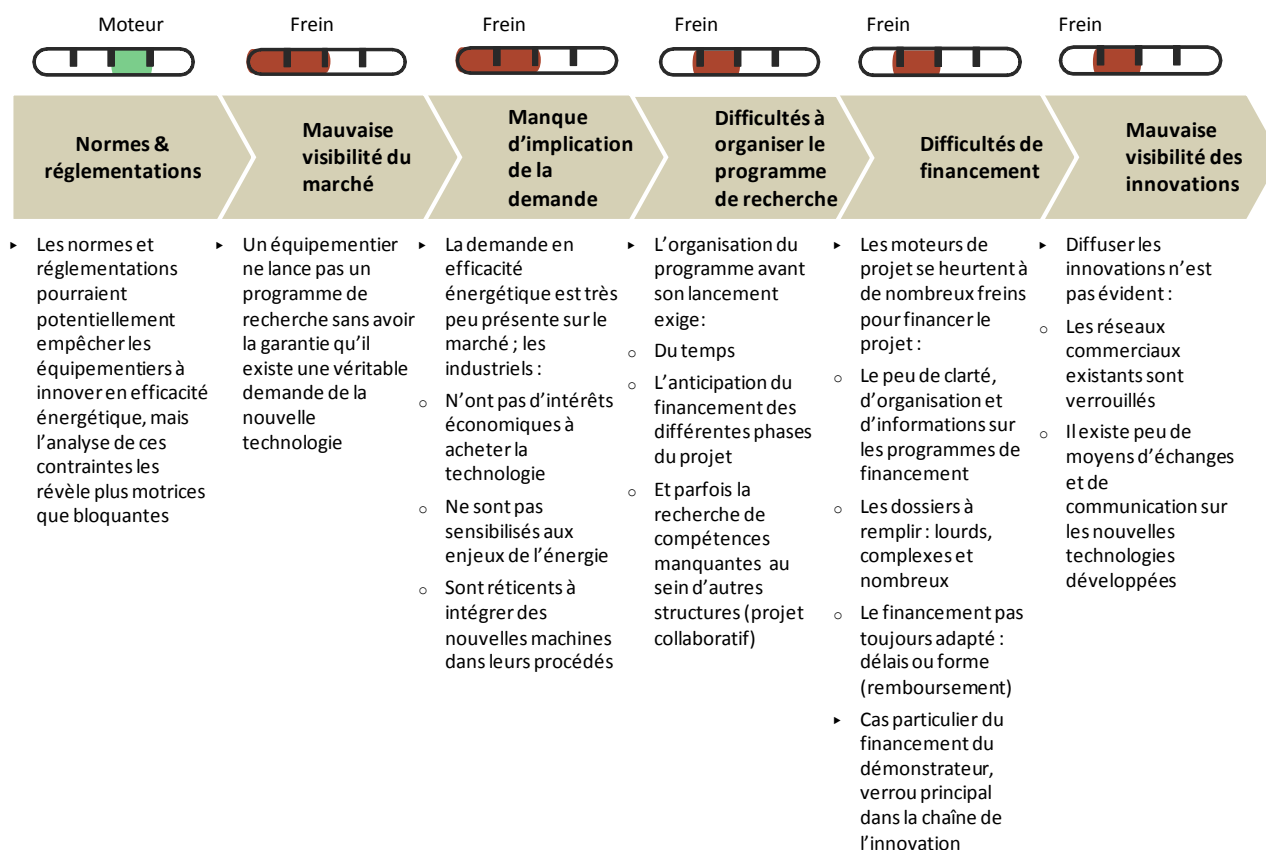


Figure 8 – Vision synthétique des verrous à l'innovation

1.4.1 Normes et réglementations

Au premier abord, les normes et réglementations sont quasiment toujours considérées comme des freins à l'innovation. En effet, les contraintes qu'elles imposent sur les équipements ou les produits finaux réduisent la marge de manœuvre laissée à l'innovation.

Inversement, les réglementations générales, en particulier celles sur les émissions de gaz à effet de serre, voire directement sur la consommation énergétique des sites de production ou des produits finaux, sont des moteurs de l'innovation, puisque les industriels doivent se munir d'équipements capables d'y répondre. La contrainte réglementaire qui représente une contrainte financière pour les acteurs de la demande devient une opportunité pour innover pour les équipementiers et les ingénieries. Citons la directive EuP⁴, dont l'objectif est d'apporter des améliorations dans l'efficacité énergétique des produits consommant de l'énergie, d'un bout à l'autre de leur cycle de vie. Elle vise la phase de conception, celle-ci étant considérée comme l'étape déterminante affectant les ressources utilisées dans un produit.

1.4.2 Manque de visibilité du marché

Avant de se lancer dans un projet de R&D, les équipementiers ont besoin de connaître le marché potentiel pour une nouvelle technologie. Mais cette étude de marché est un exercice délicat et coûteux, ce qui limite le nombre de pro-

⁴ Directive EuP : Directive Européenne relative aux produits consommateurs d'énergie, les Energy using Products. Son objectif est de fixer des exigences minimales d'efficacité énergétique de ces produits. Un effort particulier de cette directive concerne par exemple l'éclairage public. Le texte officiel, publié au Journal Officiel de l'UE, est disponible sur <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:191:0029:0029:fr:PDF>.

grammes d'innovation. La pertinence des programmes qui voient le jour en est parfois réduite : un tiers des programmes de recherche sont lancés sans sondage préalable du marché qu'ils visent.

Les développements dans l'efficacité énergétique doivent faire face à des contraintes particulières liées aux incertitudes sur les prix de l'énergie, la rémunération des services environnementaux et les aides associées. Dans un contexte aussi instable, il est souvent délicat de lancer des programmes de R&D pluriannuels

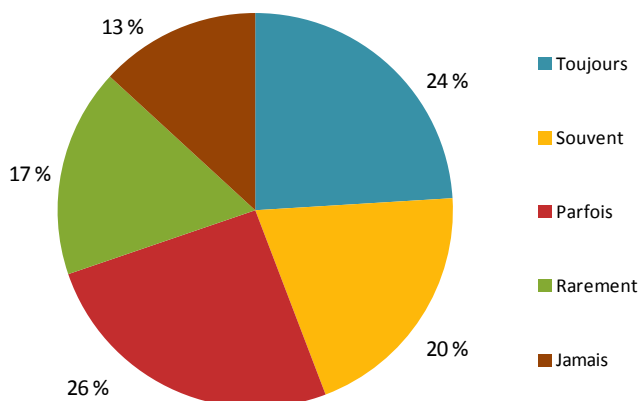


Figure 9 - Fréquence de réalisation d'études de marché (129 réponses)

Réponse à la question : « Réalisez-vous des études de marché avant le lancement d'un programme de recherche ? »

Une très large majorité des équipementiers aimerait recevoir des aides financières, techniques ou méthodologiques pour réaliser, en propre ou en s'appuyant sur des professionnels, les études de marché pertinentes qui leur manquent. Ce constat montre l'existence d'une prise de conscience et d'une volonté pour résoudre la situation.

L'implication d'organismes ou d'institutions ayant un regard sur un large panel de projet pourrait en optimiser les coûts en mutualisant les besoins de plusieurs programmes portant sur un thème technologique similaire, ou ciblant des marchés ou des secteurs identiques. Ce pourrait être le cas de bailleurs de fonds, de programmes de financement, ou d'organismes étatiques ayant une portée régionale ou nationale.

1.4.3 Manque d'implication de la demande

Au-delà de leur complexité et de leur incertitude, les marchés des équipements innovants sont encore restreints. Les équipementiers doivent se conformer aux spécifications imposées par les industriels, qui incluent rarement des contraintes sur la consommation énergétique : les coûts d'investissement, la maturité des équipements sont souvent les critères principaux ; le critère efficacité énergétique est le plus souvent absent. Les équipementiers appellent à une évolution de ces spécifications, voire à une réglementation qui forceraient une telle évolution. C'est déjà le cas au Japon, le « best in class » d'une catégorie de produit de l'année n devenant le minimum légal des produits mis sur le marché au cours de l'année n+1.

Pour parvenir à une telle évolution et stimuler la demande pour des équipements énergétiquement plus performants, 3 types d'actions doivent être menés en priorité :

- Améliorer l'économie des projets
- Sensibiliser et informer les industriels
- Dépasser la réticence qu'ont les acteurs français vis-à-vis de la prise de risque

1.4.3.1 Manque d'intérêt économique

Les temps de retour sur investissements liés à des économies d'énergie sont souvent trop longs (supérieurs à 3 ans) pour être acceptés par les industriels. Cette difficulté à agir sur le long terme est d'autant plus forte en temps de crise, les investissements étant recentrés sur les activités immédiatement rentables pour assurer la survie à court terme des organisations.

Dans de nombreux cas également, les effets d'échelle sont importants pour viabiliser économiquement les innovations. Sans ces effets d'échelles pour des unités de petite taille, les gains en énergie sont trop faibles pour des coûts d'investissement élevés, ce qui rend les investissements nécessaires inenvisageables dans les petites structures.

Des aides ou des outils fiscaux pourraient compenser ces difficultés de rentabilité et sont très fortement demandées par les industriels qui souhaitent améliorer leur performance énergétique et environnementale, mais les axes principaux de financement public en France sont davantage tournés vers la mise sur le marché des innovations que vers leur implantation dans les procédés des industries demandeuses.

D'autres leviers pourraient compléter les gains liés à la diminution de la consommation énergétique, mais ne sont pas en place aujourd'hui. Les bénéfices environnementaux rendus intrinsèquement par ces technologies moins consommatrices, donc souvent moins émettrices de gaz à effet de serre, sont par exemple encore trop faiblement récompensés. Pourtant, une taxe carbone ou tout autre mécanisme similaire rémunérant la non-émission de CO₂ à l'atmosphère encouragerait l'adoption de nouveaux équipements industriels.

Avant même l'adoption de technologies, les industriels souhaiteraient pouvoir bénéficier d'aides au diagnostic de leurs installations. Bien que le coût de ces interventions soit accessible, l'absence de garantie de résultats a priori représente un frein pour ce type de dépense

En France l'ADEME aide financièrement la réalisation de pré diagnostics, diagnostics et études de faisabilité dans le domaine de l'efficacité énergétique en industrie et en agriculture. Ces aides sont gérées à l'échelle régionale et souvent dans le cadre d'opérations collectives avec des prestations d'accompagnement. En moyenne 1000 études de ce type sont aidées chaque année. Dans d'autres pays, des aides spécifiques pour ces diagnostics sont mises en place, et très appréciées par les entreprises. Ces financements sont d'ailleurs généralement suivis d'un accompagnement personnalisé au montage de projets de R&D, tel que proposé par les *Strategic Institute Programmes* en Norvège, et au montage de dossiers de candidature, tel que proposé par la NEDO au Japon ou dans le cadre du programme *LEADER* aux USA.

1.4.3.2 Manque de sensibilisation et d'informations

La sensibilisation, le degré d'information sur l'efficacité énergétique améliorent directement la propension à adopter des équipements plus efficaces énergétiquement. La sensibilisation environnementale est un levier intéressant pour dépasser les arguments purement économiques et court termes, l'information permettant de mettre en lumière les gains long terme et les avantages globaux de telles technologies. Les arguments de communication et marketing permis par une attitude plus environnementale sont régulièrement mis en avant et utilisés par les industriels qui ont franchi le pas.

Pourtant aujourd'hui, la plupart des entreprises sont mal informées sur les enjeux et les solutions énergétiques. Trop peu sont sensibilisées sur leur impact potentiel, encore moins sur les avancées technologiques et les équipements innovants qui pourraient leur convenir et améliorer leur performance. Les industriels, conscients à la fois de ces lacunes et de leur intérêt, plébiscitent la création de sources d'information qui les renseigneraient sur les meilleures technologies et les meilleurs équipements disponibles. C'est un levier significatif pour faire évoluer la demande d'équipements plus efficaces en France, levier qui n'est malheureusement pas suffisamment activé aujourd'hui.

Le développement et l'la réalisation de formation pourrait être une solution efficace : des formations spécialisées sont régulièrement demandées à plusieurs niveaux, qu'il s'agisse de sensibiliser l'ensemble du personnel d'un site ou d'une entreprise ou bien de former certaines personnes spécifiquement pour œuvrer directement à la réduction des consommations.

1.4.3.3 Manque culturel de goût pour la prise de risque en France

Au-delà de l'efficacité énergétique, la réticence face à l'innovation est un trait culturel caractéristique de l'industrie française. Des contre-exemples existent, mais les approches de type « trial and error » et plus globalement l'acceptation du risque inhérent à tout équipement industriel nouveau sont plus faibles que dans d'autres pays. L'écart avec l'Allemagne, les Etats-Unis ou le Japon est notable, où la culture industrielle adossée à des politiques nationales volontaires forment un terreau plus favorable à l'innovation.

Les équipementiers français ont donc souvent un retard difficile à combler sur leurs homologues étrangers, qui bénéficient d'une expérience plus rapidement acquise sur leur marché domestique. S'imposer à l'étranger devient très difficile pour un équipementier français. Parfois, le marché français devient inaccessible car les clients français préféreraient eux aussi bénéficier de la plus grande maturité des solutions étrangères. Malgré l'existence de différences secto-

rielles, ce conservatisme français est souvent pointé du doigt et ne pourra être dépassé que par une volonté politique forte se traduisant sur le terrain par un partage concret de la prise de risque liée à l'adoption d'innovations.

1.4.4 Difficultés d'organisation de programmes collaboratifs

Pour nombre d'acteurs de l'innovation, regrouper l'ensemble du panel de compétences nécessaire à la bonne réalisation d'un programme de R&D est difficile. Faute d'en disposer en interne, les porteurs de projet cherchent souvent à s'associer à des structures complémentaires : plus de 80% des potentiels porteurs de projet ont déclaré préférer avoir recours à une structure collaborative. Des difficultés à identifier ces complémentarités viennent pourtant régulièrement freiner ces motivations de coopération : en France, aucune structure harmonisée ne permet à une entreprise de répertorier les compétences qu'elle souhaiterait mettre à profit dans un projet collaboratif, ou de rechercher dans son environnement accessible celles qu'il lui manque.

Une piste pour résoudre cette difficulté à monter des projets collaboratifs est l'organisation de forum de rencontres, de meetings, ou la création de bases de données de compétences. Ces bases pourraient être nourries par les organismes innovants eux-mêmes, sous réserve bien sûr de validation des spécifications techniques annoncées, par ETV en France par exemple. De manière générale, plus des deux tiers du tissu industriel français est demandeur de la création d'une plateforme internet qui rassemblerait toutes ces informations sur un seul site⁵. Dans l'état actuel, le manque d'information et de réseaux adaptés est un frein majeur au lancement de programmes à partir d'idées issues d'une structure particulière, surtout si elle est de taille réduite.

Une évaluation de la complémentarité des entreprises volontaires pour monter des projets collaboratifs a été établie lors de cette étude : la Figure 10 montre qu'un tel regroupement de compétence est tout à fait possible. En effet, les compétences manquantes à certaines entreprises sont souvent proposées dans des proportions identiques par d'autres entreprises, désireuses de les mettre à disposition du montage d'un projet dans le cadre d'un consortium.

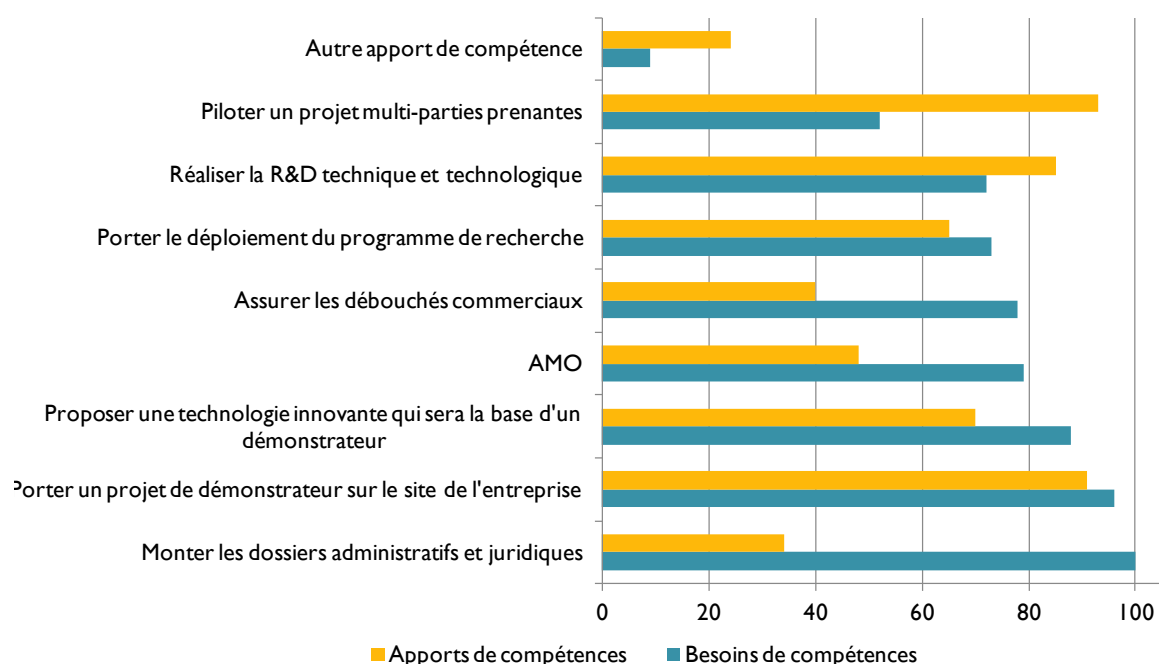


Figure 10 – Synthèse des besoins et des apports exprimés par les acteurs interrogés pour chaque champ de compétences nécessaires sur un projet collaboratif

L'équilibre n'est bien sûr pas parfait, et une attention toute particulière devra être mise sur certains points comme le montage de dossier, de projets et l'identification de débouchés commerciaux, mais le constat global est très prometteur sur la pertinence de tels groupements pour regrouper toutes les compétences nécessaires.

⁵ Voir par exemple le site national : <http://www.lemoteurdelarecherche.fr> et également l'outil TECHNEO qui est un outil national : http://techno.oseo.fr/liste_des_compences/techno/

1.4.5 Difficultés de financement

1.4.5.1 Manque de ressources et de lisibilité budgétaire

Même avec une idée de projet de R&D intéressante et estimée rentable, TPE et PME ont rarement le temps d'organiser et de lancer un programme de recherche. Au-delà de l'organisation nécessaire, dégager du temps est souvent difficile pour des petites structures dont les horizons de temps visibles sont très court terme et la trésorerie plus limitée que celle d'un groupe plus important.

Les programmes de développement d'équipement industriels sont coûteux et s'étalent généralement sur plusieurs trimestres, voire plusieurs années : il est nécessaire pour l'équipementier ou l'industriel qui porte le programme de pouvoir le financer, et ce jusqu'à la mise sur le marché du produit final.

Le porteur de projet doit donc disposer d'une bonne lisibilité sur ses capacités d'autofinancement à venir, ainsi que de sa capacité à capter les différents programmes de financement axés sur chacune des étapes de développement. La construction d'un démonstrateur, très capitalistique, doit notamment être anticipée très en amont. De manière générale, un porteur de projet doit pouvoir évaluer ses chances d'être éligible aux différents mécanismes d'aide, financière ou non, les montants auxquels il pourra prétendre, ainsi que les délais qui seront nécessaires pour l'obtention concrète de ces aides. Sur un projet de 18 mois ou 2 ans par exemple, 6 mois de retard dans le versement d'un financement constitue un danger majeur pour la survie du projet voire de l'entreprise, en retardant d'autant la mise sur le marché de l'innovation et les retours financiers qui s'ensuivront.

1.4.5.2 Difficulté d'obtention des aides à l'innovation

Si le concepteur d'un projet rencontre des difficultés à anticiper les financements qu'il pourra recevoir, obtenir ces financements est souvent encore plus difficile. Pourtant, même pour une entreprise en bonne santé, c'est souvent une condition sine qua non pour la réalisation d'un programme de recherche, généralement très coûteux et avec des temps de retour sur investissement qui peuvent être relativement long.

La première difficulté est d'identifier les programmes de financement adaptés au projet parmi la multiplicité des guichets d'aide et un tissu institutionnel relativement désorganisé en France. Les manques de clarté, d'organisation, et d'information sur ces programmes en limitent l'efficacité. Ce parcours est d'autant plus long qu'il faut faire appel à plusieurs de ces programmes de financement, chacun correspondant à une étape du développement du projet. Une harmonisation, par exemple dans les critères d'attribution des financements ou dans le formatage des dossiers, permettrait de gagner énormément en clarté et en temps, et donc en coût de cette phase de recherche de financement.

A quelques exceptions près, les porteurs de projet redoutent la complexité des dossiers à monter. Outre le caractère chronophage de cette étape, l'incertitude qui résulte de la difficulté à valider tous les détails demandés dans le dossier (surtout pour des sujets innovants qui ont parfois du mal à rentrer dans les cadres demandés) accentue le coût et le risque de cette quête.

Face aux difficultés pour accéder aux aides à l'innovation, de nombreuses pistes d'améliorations ont été proposées. L'intérêt pour chacune d'elle est résumé ci-dessous.

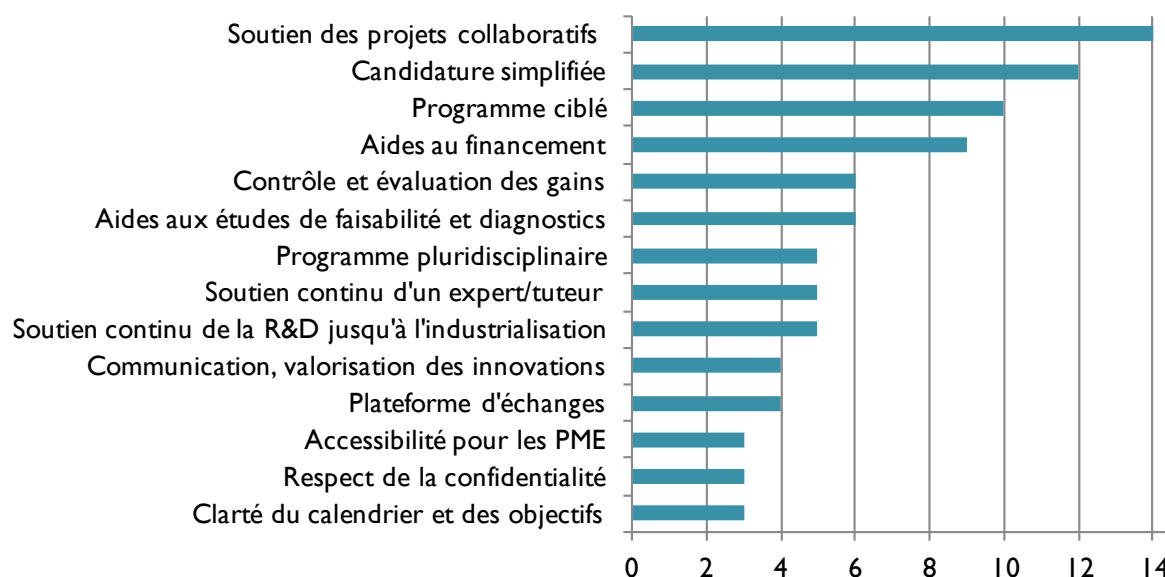


Figure 11 – Nombre des citations de caractéristiques idéales d'un programme de soutien à l'innovation au cours de l'enquête

1.4.5.3 Cas particulier du financement de démonstrateur

Le financement du démonstrateur est l'étape dont le coût est le plus important, et cristallise une grande partie du risque du projet : sans avoir la certitude du financement du démonstrateur, le lancement d'un programme de recherche devient hasardeux. Trouver le budget nécessaire à cette étape de démonstration est d'ailleurs la plus grande difficulté perçue par les porteurs de projets de R&D, devant la capacité à rentabiliser le produit final par le biais des gains sur la facture énergétique qu'il permettra. Les aides pour les financements de démonstrateurs ont été les plus sollicitées au cours de l'étude : la quasi-totalité des équipementiers et industriels sont confrontés au problème et en ont souligné l'intérêt.

1.4.6 Manque de visibilité des innovations sur les marchés

Une fois que la technologie a fait ses preuves au sein du démonstrateur, reste à diffuser l'innovation sur le marché. Cette phase de commercialisation de la technologie est souvent plus difficile qu'anticipée : les nouvelles technologies sont peu visibles sur les marchés d'équipements industriels à cause d'un foisonnement d'offre qui masque facilement les « best in class ». De plus, pour des raisons d'organisation et de formation, les industriels renouvèlent peu leurs fournisseurs. Cela rend difficile pour un équipementier de diffuser une nouvelle technologie hors d'un réseau déjà fidélisé.

Des solutions peuvent passer par la mise en place de plateformes d'échanges et de communication sur les nouvelles technologies existantes. Participant à l'émergence de nouvelles technologies en efficacité énergétique dont ils garantissent par leur sélectivité la pertinence et la qualité, les programmes de soutien sont d'ailleurs souvent bien placés pour renseigner et crédibiliser ces plateformes.

1.5 Programmes de soutien en France

1.5.1 Les principaux organismes de soutien

L'efficacité énergétique s'intègre dans une politique de soutien à un développement plus durable (l'énergie représente 48% des financements abordés ci-dessous sachant que 3,5% du total, soit 14 millions, sont dédiés aux procédés industriels [5]). La Figure 12 indique les financements accordés à l'innovation dans les filières vertes.

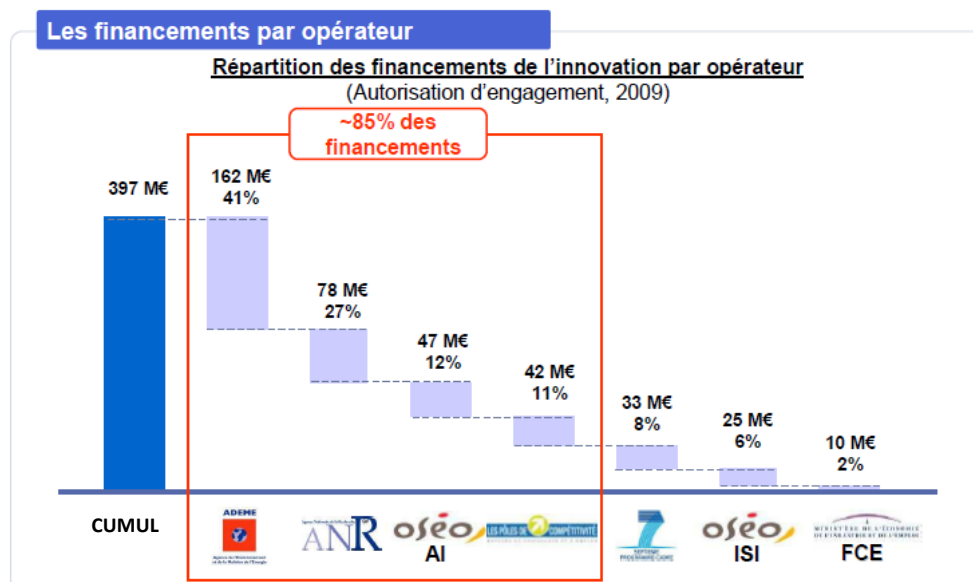


Figure 12 – Financements de l'innovation dans les filières vertes en 2009 [6]

En France, on doit citer : l'ANR, l'ADEME et OSEO.

- ANR : le but de l'Agence Nationale pour la Recherche est de dynamiser et de soutenir la recherche fondamentale. Reconnue comme l'organisme public en charge de la recherche fondamentale, l'ANR se positionne sur les programmes de R&D amont. En 2010, l'ANR a reçu 379 dossiers de candidature au sein du pôle « Energie Durable et Environnement ». 90 projets (24% de taux de sélection) ont été financés pour un budget total attribué de 76,6 millions d'euros, soit 851 000 euros en moyenne par projet [7]. L'organisme a par ailleurs sous sa responsabilité une partie des investissements d'avenir de l'Etat⁶.
- ADEME : l'Agence du Développement Et de la Maîtrise de l'Energie, est en charge de la mise en place des politiques publiques en matière d'environnement et de maîtrise de l'énergie. L'ADEME est un des leviers principaux du gouvernement pour atteindre les objectifs européens de réduction de 20% de la consommation énergétique d'ici 2020. L'ADEME bénéficie ainsi d'une enveloppe globale annuelle de 695 millions d'euros pour l'ensemble de ses interventions, dont 247 millions d'euros dédiés uniquement aux actions nationales [8]. Elle a par ailleurs la responsabilité d'une grande partie des investissements d'avenir pour le compte de l'Etat (2,85 milliards d'euros).
- OSEO : c'est un organisme public de soutien à l'innovation et à l'entrepreneuriat se concentrant essentiellement sur la construction d'un réseau de soutien aux PME et du déploiement de moyens de financement. En 2009, OSEO a réalisé plus de 100 000 opérations de financement à destination des PME pour un montant total de 25 milliard d'euros. Enfin, tout comme l'ANR et l'ADEME, OSEO prend en charge la distribution d'une partie des investissements d'avenir à raison de 2,44 milliards d'euros. Ces fonds sont en partie (à hauteur de 300 millions d'euros) destinés aux pôles de compétitivité qui peuvent en bénéficier au titre de l'organisation de projets R&D structurants entre acteurs publics et privés [9].

Ces trois organismes développent des stratégies de soutien à l'innovation souvent complémentaires en couvrant respectivement chacune des phases de développement d'un programme de recherche.

1.5.2 Les programmes de financement

En France, certains programmes de financement permettent de répondre au moins partiellement aux besoins soulevés par les acteurs de la chaîne de valeur de l'innovation en efficacité énergétique dans l'industrie. La Figure 13 présente le positionnement de ces programmes le long des différentes phases du processus d'innovation technologique.

⁶ Les investissements d'avenir ont été lancés par l'Etat en décembre 2009. Forts d'une enveloppe globale de 35 milliards d'euros, ces ressources visent à endiguer le déclin du manque de capacité française à innover sur ses marchés. L'ensemble de ce soutien est toutefois concentré sur 5 priorités stratégiques dites d'avenir pour la France, et notamment le développement durable (abordant les problématiques énergétiques) mais aussi les filières innovantes et les PME.

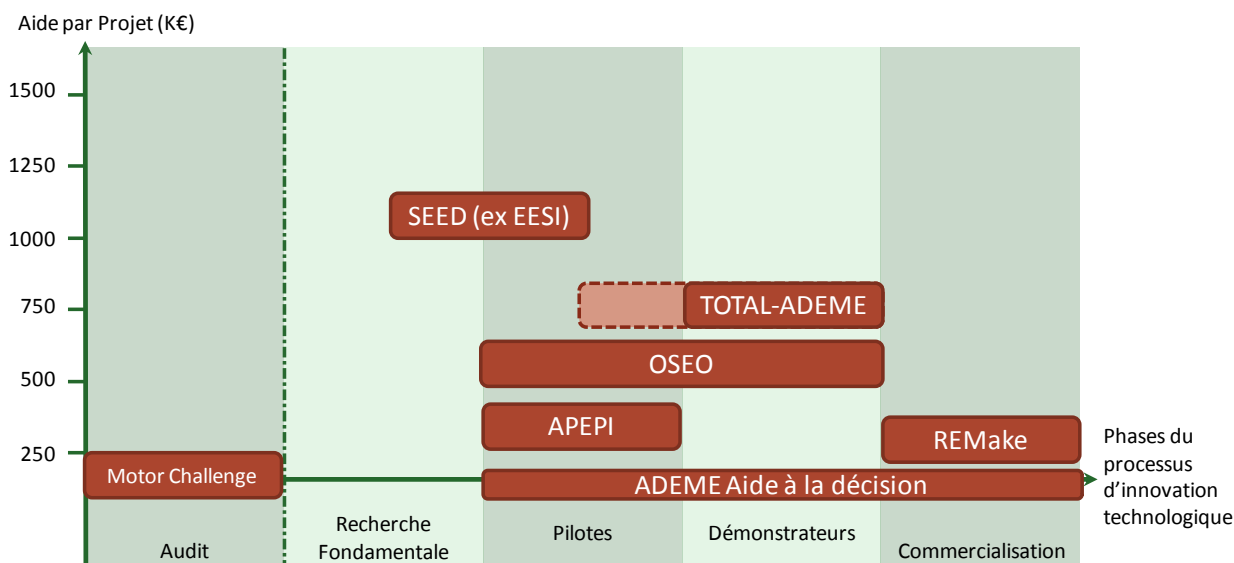


Figure 13 – Positionnement des programmes de soutien à l'innovation en EE

- **Audit (énergétique) :** bien que n'étant pas affiliée directement à la démarche d'innovation, cette étape est indispensable afin d'identifier les leviers d'amélioration. Sur cette phase amont, la présence de Motor Challenge (ADEME), par l'intermédiaire d'une labellisation, favorise la prise de conscience des industriels sur les innovations à réaliser dans le périmètre des moteurs électriques industriels.
- **Recherche Fondamentale :** cette phase repose sur des investigations n'ayant pas pour objectif premier d'engendrer un débouché commercial à court ou moyen terme. A ce titre, elle est essentiellement portée par des laboratoires et organismes publics (ANR) et comprend un programme (SEED, anciennement EESI) à destination des entreprises et centres de recherche.
- **Pilotes :** charnière de la R&D, le pilote vise à confirmer à échelle réduite la faisabilité d'un projet innovant à finalité commerciale. Cette phase de développement a bénéficié du programme EESI (ANR & CEA) qui a supporté 13 projets entre 2009 et 2010 et est aujourd'hui couvert pour partie par le programme SEED. Enfin, le positionnement du programme APEPI (ADEME) est actif depuis mars 2011.
- **Démonstrateurs :** visant à développer un « pilote » à échelle industrielle, la phase de démonstration est le passage obligé pour un déploiement commercial d'envergure d'une innovation industrielle. Cette phase est supportée par le programme ADEME-TOTAL.
- **Commercialisation :** une fois l'innovation testée et déclarée fiable par le biais du démonstrateur, l'entreprise la commercialise à une échelle suffisante pour que les retours financiers soient suffisants pour couvrir les frais engagés et générer des profits. Afin de soutenir cette phase, OSEO a développé une aide au développement commercial des éco-innovations. Ce soutien est en revanche relativement modeste dans le cadre d'une innovation industrielle d'envergure (aide plafonnée à 15 k€ par projet).

Transversalement à ces programmes, l'ADEME propose également un soutien pour l'aide à la décision.

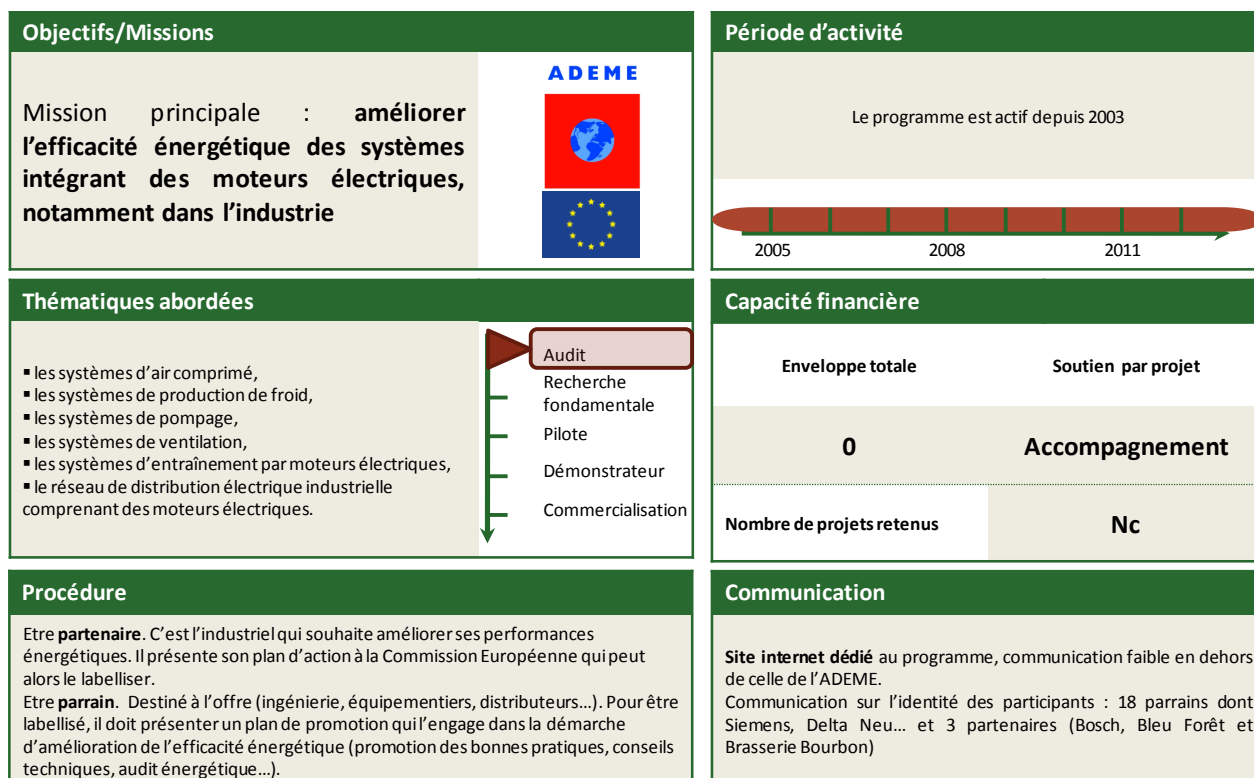
Motor Challenge

Figure 14 - Description du programme Motor Challenge

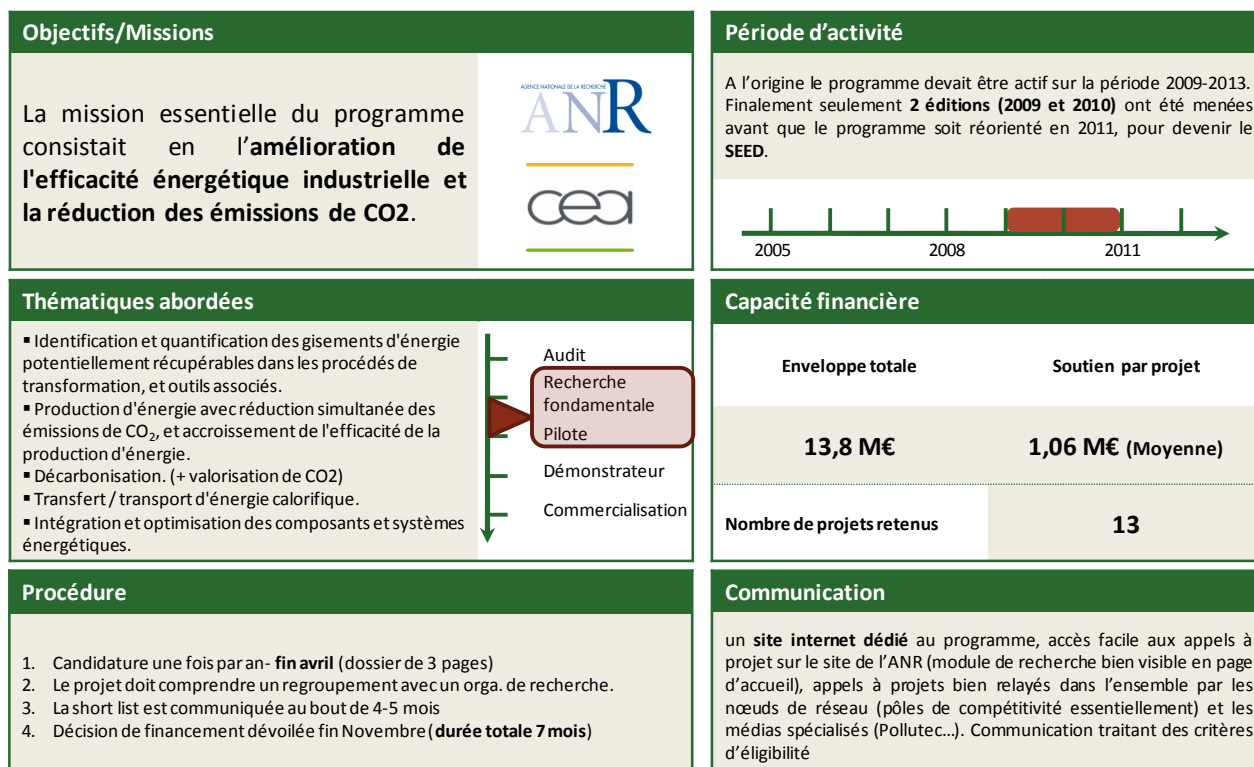
Efficacité Énergétique et réduction des émissions de CO2 dans les Systèmes Industriels (EESI)

Figure 15 - Description du programme EESI

Systèmes Énergétiques Efficaces Décarbonés (SEED)

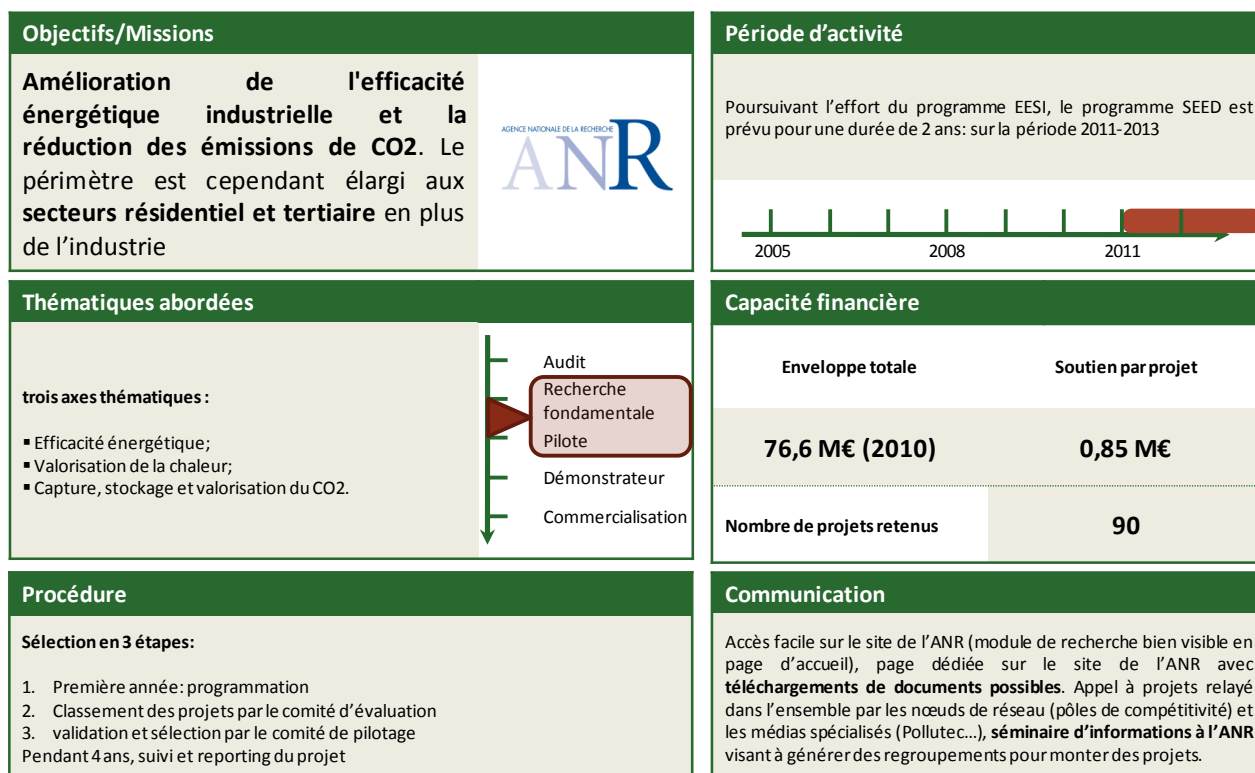


Figure 16 - Description du programme SEED

Programmes d'aide à l'innovation (OSEO)

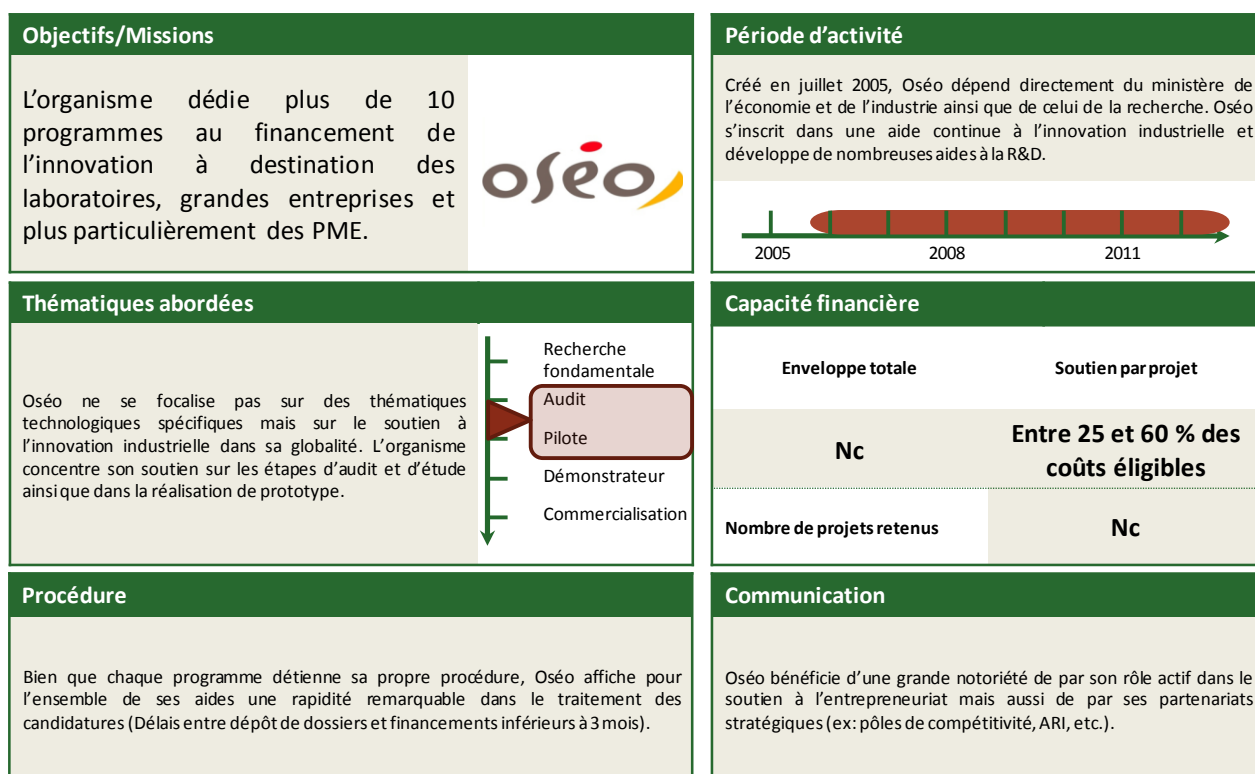


Figure 17 - Description des programmes d'aide à l'innovation d'OSEO

Amélioration de la Performance Énergétique des Procédés et utilités Industriels (APEPI)

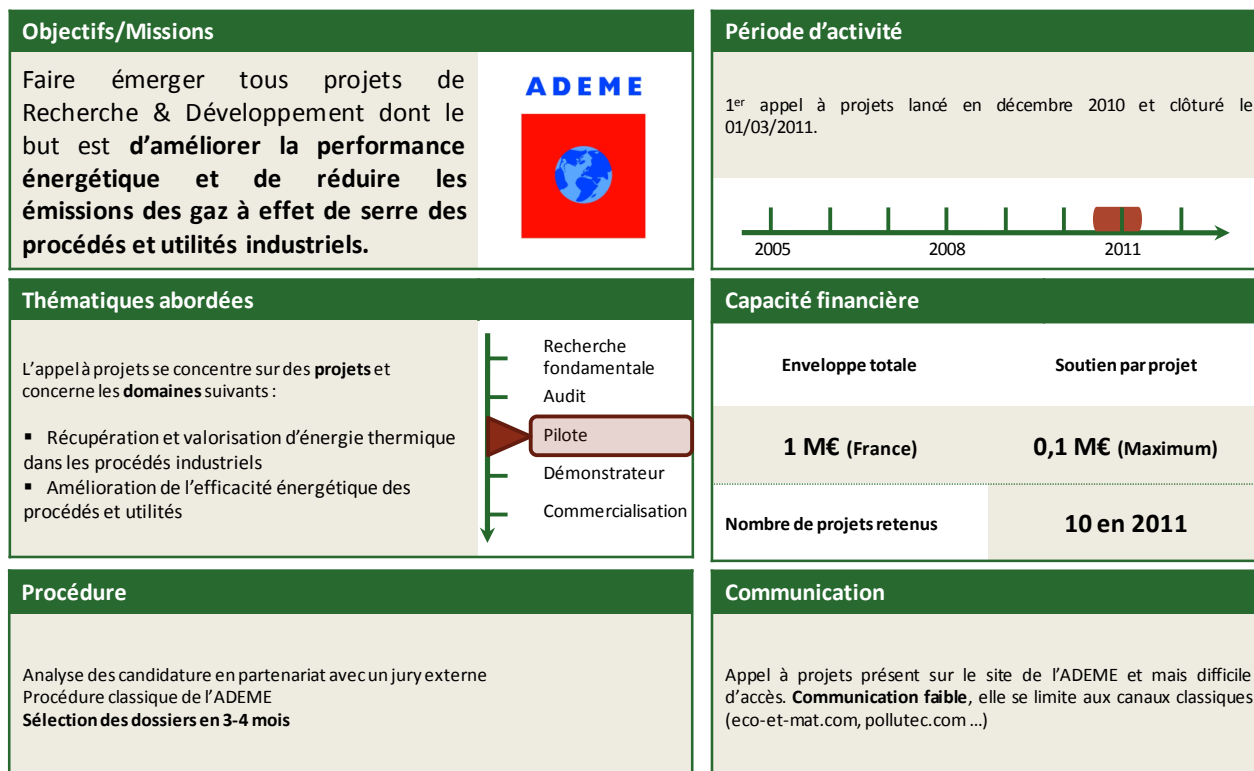


Figure 18 - Description du programme APEPI

Amélioration de l'efficacité énergétique dans l'industrie (ADEME-TOTAL)

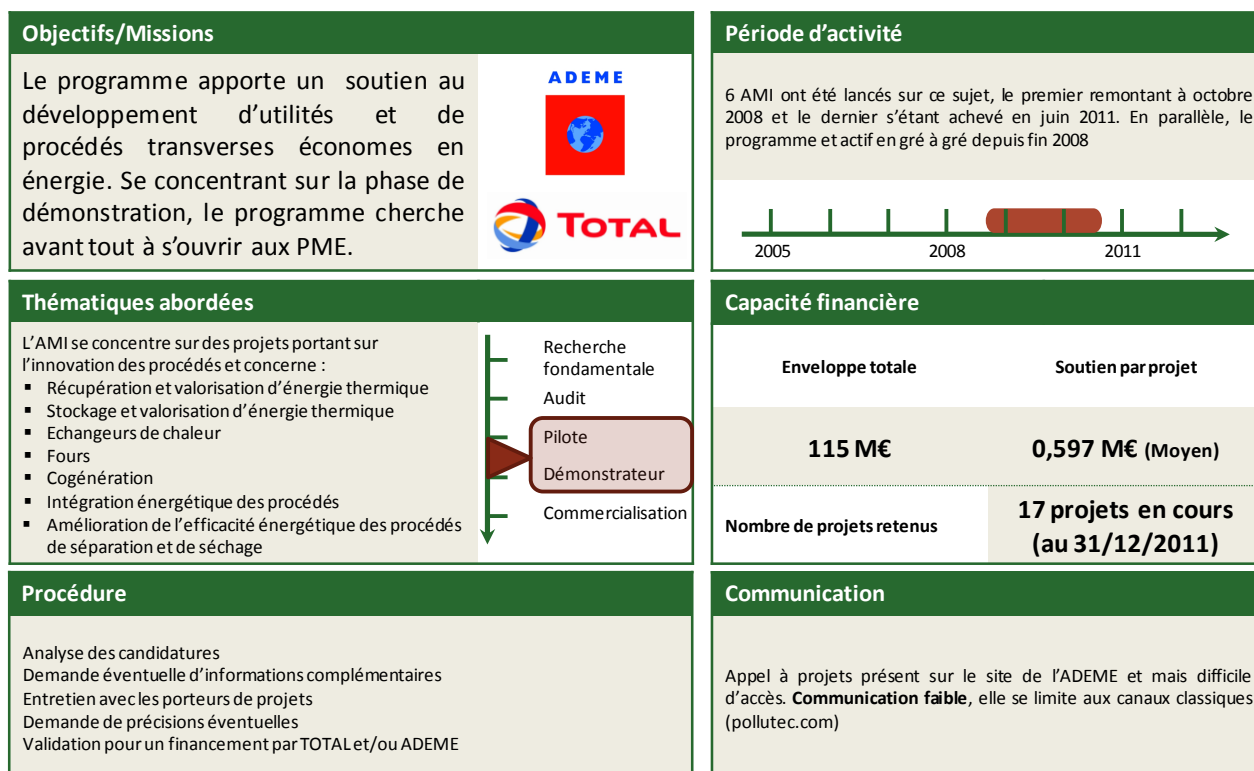


Figure 19 - Description du programme ADEME-TOTAL

Recycling and Resource Efficiency driving innovation in European Manufacturing SMEs (REMake)



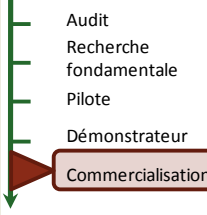
Objectifs/Missions Vise à financer des investissements dans les écotechnologies ou à mettre des éco-innovations sur le marché . 	Période d'activité Le 1 ^{er} appel à projets est lancé en septembre 2009, le deuxième est lancé du 26/04/2011 au 30/06/2012. 						
Thématiques abordées Aide à la démonstration de la faisabilité économique d'un projet éco-innovant Secteurs privilégiés: travail des métaux, produits et procédés plastiques, traitement de surfaces, ingénierie mécanique, équipements électriques et électroniques... 	Capacité financière <table> <tr> <th>Enveloppe totale</th><th>Soutien par projet</th></tr> <tr> <td>1 M€ (France)</td><td>15 k€ (Maximum)</td></tr> <tr> <td>Nombre de projets retenus</td><td>80</td></tr> </table>	Enveloppe totale	Soutien par projet	1 M€ (France)	15 k€ (Maximum)	Nombre de projets retenus	80
Enveloppe totale	Soutien par projet						
1 M€ (France)	15 k€ (Maximum)						
Nombre de projets retenus	80						
Procédure Les projets sélectionnés sur dossier bénéficient d'une aide d'OSEO en subvention, plafonnée à 15 000 € , permettant de financer notamment des expertises externes (audit sur la pertinence et le potentiel du projet, conseils pour l'obtention d'aides, pour l'implémentation de technologies innovantes...) Fenêtre d'ouverture des remises de dossier de 2 mois	Communication Appels à projets très bien relayés sur le web par l'ensemble des nœuds de réseau et médias spécialisés. Appels à projets difficilement identifiables sur le site d'OSEO						

Figure 20 - Description du programme REMake

Programme Environmental Technology Verification (ETV)

Ce nouveau programme lancé par l'ADEME en 2011 a pour but d'organiser des opérations de vérification de performances d'écotechnologies innovantes et donc de faciliter leur pénétration sur le marché. Basé sur le volontariat, le programme propose une vérification par une entité tierce des performances d'une écotechnologie innovante afin de donner plus de crédibilité aux offreurs de technologies et les aider à convaincre leurs premiers clients y compris à l'export. Sur demande, des organismes de vérification reconnus par les pouvoirs publics examinent toutes les informations et données de test fournies concernant la technologie. En fonction des informations soumises par l'entreprise, l'organisme de vérification exige des tests complémentaires de vérification qui seront réalisés selon un protocole défini par des structures de tests préalablement identifiés. La vérification des performances de l'écotechnologie est publiée sous la forme d'un rapport qui est ensuite utilisable par l'entreprise pour convaincre ses premiers acheteurs. Le rapport pourra même être utilisé comme argument de vente à l'étranger.

2 L'efficacité énergétique à l'étranger

Dans le but de comparer les choix en termes de technologies développées, de politiques de soutien et d'incitation et d'identifier les écarts existants sur les freins à l'innovation, ENEA Consulting a analysé le cas de 4 pays en particulier : l'Allemagne, les États-Unis, le Japon et la Norvège.

Afin d'en avoir une vision exhaustive, ENEA Consulting a basé son analyse sur des études bibliographiques et des interviews d'acteurs institutionnels.

2.1 Etats-Unis



A l'instar de nombreux pays développés, les États-Unis ont constamment amélioré leur efficacité énergétique globale depuis les années 1950. Entre 1955 et 2005, les besoins en énergie du pays ont augmenté de 250% alors que le PIB augmentait de 500%.

Cette évolution a été soutenue par des moyens importants, en forte augmentation ces dernières années : 6,6 milliards de dollars ont été consacrés à l'efficacité énergétique sur les secteurs du gaz et de l'électricité en 2010 soit une augmentation de près de 25% par rapport au budget 2009. La somme de tous ces efforts a conduit à une augmentation moyenne de 1,5 % de l'efficacité énergétique globale entre 1990 et 2006.

Les enjeux liés à l'efficacité énergétique dans le secteur industriel sont particulièrement importants étant donné qu'il représente près d'un tiers de la consommation énergétique totale des États-Unis. Les programmes de soutien dédiés au secteur industriel se concentrent sur huit thématiques transverses :

- La combustion
- Les cycles combinés
- Les procédés énergivores tels que la séparation, les process haute température, la minimisation et la valorisation des pertes de chaleur
- La flexibilité des carburants et des intrants
- Les nouveaux matériaux pour l'industrie du futur
- Les procédés de production des nanomatériaux
- Les technologies de l'information et de la communication
- Les capteurs et l'automatisation

2.1.1 Les programmes de soutien

La plus grande partie des programmes de soutien à l'efficacité énergétique dans l'industrie sont, au niveau fédéral, sous le contrôle de l'U.S. Department of Energy - Energy Efficiency and Renewables Energies Office (U.S. DOE - EERE). Ce bureau est en charge du soutien au développement de technologies efficaces énergétiquement pour les bâtiments, le transport et l'industrie par le soutien financier de projets de R&D à haut risque et à haute valeur ajoutée.



Le principal programme mis en œuvre par l'EERE visant à soutenir le développement de technologies pour l'efficacité énergétique dans l'industrie est l'*Industrial Technologies Program (ITP)*⁷ qui a deux missions principales :

- Soutenir l'émergence de nouvelles technologies : L'ITP subventionne actuellement plus de 142 projets de recherche sur des technologies spécifiques à certains secteurs industriels ou des technologies transverses. Depuis 30 ans, le programme a permis la commercialisation de plus de 220 nouvelles technologies. L'objectif pour la période 2009-2013 est de commercialiser 15 nouvelles technologies.
- Développer la demande des industriels en équipements à haute performance énergétique à travers :
 - Le développement et la diffusion de standards, de rapports d'évaluation, d'outils et de formations.
 - La réalisation de diagnostics énergétiques par 26 centres d'évaluation industrielle⁸ basés dans des universités du pays. Outre le bénéfice en termes d'échanges entre le monde universitaire et l'industrie,

⁷ ITP s'appelle désormais AMO Advanced Manufacturing Office

⁸ Industrial Assessment Centers (IAC)

cette action a permis la création d'une base de données regroupant les résultats de l'ensemble des diagnostics et des recommandations correspondantes⁹.

- La mise en place de partenariats pour augmenter l'impact des actions de l'ITP.

L'ITP agit à la fois sur l'offre et la demande, ce qui le différencie de la plupart des programmes français, souvent plus ciblés, qui sont exclusivement à destination de l'offre ou de la demande.

Du point de vue de la sensibilisation, de la diffusion de l'information et de la valorisation des bonnes pratiques, le programme *Save Energy Now*, qui fait partie intégrante de l'ITP, est relativement complet en offrant :

- La réalisation de diagnostics énergétiques de 1 à 3 jours en fonction de la taille du site audité,
- Des recommandations d'actions à mener suite au diagnostic,
- La création et l'animation de réseaux d'échange à différents niveaux (industriels, associations, équipementiers, institutionnels),
- La diffusion de retours d'expériences, d'études de cas et de bonnes pratiques,
- Le programme d'engagement *LEADER* : toute entreprise peut s'engager dans ce programme, qui a pour objectif une réduction d'au moins 25% des consommations énergétiques sur une période de 10 ans, et bénéficier en échange d'un accompagnement personnalisé et d'un accès privilégié aux ressources de l'U.S. DOE EERE.



L'intérêt d'initiatives telles que le programme *LEADER* est d'offrir aux entreprises souhaitant s'engager dans ces démarches une certaine visibilité et une valorisation de leurs actions en faveur de l'efficacité énergétique sur le marché.

Focus sur le processus d'évaluation / sélection des projets

Concernant le support apporté par l'ITP aux acteurs de l'offre, il est intéressant de souligner que les objectifs du programme sont basés sur le nombre d'innovations qui atteindront le stade de la commercialisation. En effet, le programme donne une grande importance à deux thématiques qui doivent être finement traitées et analysées dans les dossiers de candidature : le potentiel du marché et la commercialisation. Pour maximiser la réussite de leurs objectifs en termes de commercialisation, l'U.S. DOE EERE a mis en place des procédés de gestion des projets relativement poussés tels que le Stage Gate Process [13]. Les dossiers financés sont suivis sur une base régulière à travers la production d'un rapport trimestriel de suivi présentant l'avancement du développement et les éventuels problèmes et obstacles rencontrés. Ce suivi relativement lourd permet à l'ITP de fournir un soutien personnalisé à tous les projets pour les porter au mieux vers la commercialisation.



Figure 21 – « Stage-Gate Process Flow » promu par l'U.S. DOE dans le cadre de l'ITP [10]

Dans le cadre du soutien financier de projets de développement de technologies, les projets proposés sont évalués par des experts internes ou externes au DOE. Pour respecter les contraintes de propriété intellectuelle, ces experts sont sous accord de confidentialité. Les principaux critères de l'évaluation sont, par ordre d'importance :

- La qualité technique de la technologie proposée : qualité scientifique et technique, degré d'innovation, originalité, compatibilité avec des technologies existantes.
- Les bénéfices potentiels pour l'industrie américaine en termes d'énergie, d'économie, d'environnement et de marché.
- Le plan de gestion technique et administrative du projet.
- Les compétences et ressources du porteur de projet.

Pour tous les projets, le degré d'innovation, la réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'efficacité énergétique sont les principaux objectifs. Pour les porteurs de projet, la principale contrainte réside dans leur habilité à démontrer l'esprit novateur de leur proposition.

⁹ IAC Database : <http://iac.rutgers.edu/database/>

2.1.2 Les freins à l'innovation en efficacité énergétique

Aux États-Unis, les principaux freins au développement de l'efficacité énergétique industrielle se situent au niveau de la demande.

Dans les grandes entreprises, le manque de motivation des équipes et la culture de l'entreprise peuvent représenter d'importantes barrières à l'investissement : par exemple, beaucoup d'entreprises dont l'innovation et l'excellence sont au cœur de leur activité considèrent que le sujet de l'efficacité énergétique a déjà été traité ou ne mérite pas de l'être.

Par ailleurs, les industriels de grande taille souffrent souvent de limitations structurelles dues à la séparation des départements administratifs, commerciaux et opérationnels alors que la démarche d'efficacité énergétique nécessite une réflexion transverse en continu.

Dans le cas des PME, les coûts masqués relatifs à des actions d'efficacité énergétique, tels que le temps nécessaire à la gestion du projet et les pertes d'exploitation, sont l'un des principaux freins.

Plus globalement, la plupart des entreprises aux États-Unis ont des attentes exigeantes sur les investissements réalisés en termes de temps de retour sur investissement : un TRI de plus de 5 ans est souvent rédhibitoire. Ces stratégies à court terme ne favorisent pas l'efficacité énergétique.

Du côté de l'offre, les principaux freins sont le manque de fonds pour lancer et faire aboutir les projets ainsi que la réticence de la demande.

2.1.3 Conclusion

Aux États-Unis, les limitations en termes de diffusion de technologies d'efficacité énergétique se situent aujourd'hui principalement du côté de la demande, chez les industriels consommateurs d'énergie.

En effet, les efforts menés par l'U.S. DOE pour professionnaliser le principal programme de soutien, l'*Industrial Technologies Program*, ont été bénéfiques avec près de 1500 soumissions de projet lors du dernier appel à projets et un taux élevé de commercialisation des technologies subventionnées.

Les actions de sensibilisation, d'accompagnement au diagnostic énergétique ou encore de soutien financier à l'implémentation vont probablement se renforcer du côté de la demande dans les prochaines années pour valoriser au mieux le potentiel d'économies liées à l'efficacité énergétique.

2.2 Allemagne



En Allemagne, le secteur industriel émet environ 350 MtCO₂ en incluant les émissions indirectes liées à la consommation d'énergie. Le secteur industriel a consommé 643 TWh en 2008. Sur les 10 dernières années, l'augmentation de l'efficacité énergétique dans l'industrie a été en moyenne de 1% par an. Il reste ainsi un potentiel important d'améliorations vers un usage plus efficace de l'énergie.

Pour faire évoluer le tissu industriel dans ce sens, les organismes tels que le Ministère fédéral allemand pour l'environnement (BMU), l'agence allemande de l'énergie (DENA) ou encore la banque d'aide au développement kfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) subventionnent des structures spécifiques ou mettent en place des programmes de soutien sous différentes formes : éducation et communication, aide au diagnostic, incitations financières et économiques, réglementation.

Tout d'abord, il est intéressant de souligner que la majorité des programmes mis en place ne sont pas spécifiques à une ou plusieurs familles de technologies : ils viennent davantage en soutien des acteurs de l'innovation (PME, centres de recherche) ou de projets spécifiques (exemple : diffusion de bonnes pratiques). Seuls certains mécanismes de soutien ciblent des technologies en particulier tels que la loi de support à l'investissement pour la cogénération, les échangeurs et la génération de froid.

Au niveau de l'intérêt porté aux différentes catégories de technologies, la DENA¹⁰ privilégie en particulier les technologies suivantes dans ses actions de soutien à l'efficacité énergétique dans l'industrie :

- Les systèmes CVC (Chauffage, ventilation et climatisation)
- Les systèmes convoyeurs
- Les systèmes d'air comprimé
- Les pompes
- Les technologies de production et de valorisation d'énergie thermique et d'optimisation des systèmes associés
- L'éclairage
- La génération de froid
- Les moteurs et systèmes d'entraînement

2.2.1 Les programmes de soutien

Le principal programme de soutien économique à l'innovation en efficacité énergétique industriel est le programme de recherche énergétique dont le 6^{ème} opus a été adopté en août 2011 avec un budget de 3,5 milliards d'euros pour la période 2011-2014 (le budget était de 2,85 milliards pour la période 2005-2010).

Ce programme vise à encourager le développement de projets de R&D dans l'énergie afin d'atteindre le stade du démonstrateur. Toutefois, ce programme de recherche n'est que partiellement dédié à l'efficacité énergétique et ne vise pas spécifiquement les équipementiers industriels. Il vise en particulier les PME et les institutions scientifiques.

Deux instruments financiers sont utilisés pour la distribution de fonds des programmes de recherche en énergie : le financement de projet et le financement par institution. Le financement de projet concerne davantage la recherche appliquée, proche de la mise sur le marché. Le financement institutionnel alimente les centres de la communauté Helmholtz dédiés à la recherche fondamentale dans le domaine de l'énergie ou à des projets nécessitant d'importantes infrastructures de recherche. La combinaison de ces deux vecteurs de financement est un des facteurs clés de la réussite de l'Allemagne sur la scène internationale en termes de recherche technologique.

Le programme de recherche énergétique vise à supporter à la fois l'offre et la demande. Il subventionne les projets à hauteur de 50% dans la limite de 5 millions d'euros par projet.

Sensibilisation, diffusion des connaissances et des bonnes pratiques

En complément des soutiens financiers mis en place par le gouvernement fédéral, de nombreux programmes de diffusion des bonnes pratiques et d'accompagnement à la mise en place opérationnelle ont été développés.

La DENA, relativement peu présente sur des actions de soutien financier, est très active sur la diffusion d'informations. Elle a vocation à fournir à l'ensemble des parties prenantes les informations concernant les possibilités de réduction des coûts et des consommations énergétiques par l'application de technologies d'amélioration de l'efficacité énergétique des procédés. La DENA a un rôle semblable à celui de l'ADEME en France sur le volet de la diffusion d'informations.



Parmi les nombreuses actions menées dans ce sens par la DENA, peuvent être citées :

- Dans le cadre de l'initiative *EnergieEffizienz* (site internet dédié à la problématique de l'efficacité énergétique) :
 - Le développement d'une base de données recensant des projets exemplaires en termes d'efficacité énergétique (diffusant des informations sur les technologies mises en œuvre, les coûts et économies générés, les personnes à contacter).
 - La rédaction et la mise à disposition de fiches de présentation de bonnes pratiques sectorielles.
- La mise en place de plusieurs types de labels pour donner plus de visibilité à des projets d'efficacité énergétique exemplaires dans le but d'apporter un soutien à la communication et à la valorisation des investissements réalisés par le porteur de projet :
 - "Good Practice in Energy Efficiency"
 - "Energy Efficiency Awards"

¹⁰ Deutsche Energie-Agentur

Projet: Beleuchtungsoptimierung bei PMG Füssen

[Klicken Sie hier, um die Komplettbeschreibung des Projektes als PDF herunterzuladen](#)



Technologie: Beleuchtungsanlage
Branche: Metallherstellung und -bearbeitung, Herstellung von Metallzeugnissen
Anbieter/Planer: ALANOD Aluminium-Veredlung GmbH & Co. KG / ETAP Beleuchtung
Anwender: PMG Füssen GmbH
Bundesland/Land: Bayern

FAKTEN | PROJEKTbeschreibung | ANBIETER | ANWENDER

Optimierungsmaßnahmen:

- Beleuchtungsanlage
 - Leuchten mit hocheffizienten Reflektoren
 - tageslichtabhängige Beleuchtungsregelung
 - Ersatz konventioneller Vorschaltgeräte (KVG) durch elektronische (EVG)


Energieeinsparung pro Jahr: 970.000 kWh/a

Energieeinsparung pro Jahr: 72 %

Kosteneinsparung pro Jahr: 78.000 €

Investitionen: 142.000 €

CO₂-Reduktion pro Jahr: 346 t CO₂



dena
German Energy Agency

Industrie Effizienz 2
Industry & Production

Energy efficiency of heating systems in industry and production.
Pulcras Chemicals GmbH, Geretsried plant:
optimisation of steam generation.

The Initiative EnergyEffizienz2 campaigns of the Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), the German Energy Agency, promotes exemplary projects presenting efficient energy use in industry and production to encourage businesses of all sizes and kinds. The projects described provide innovative solutions for generating energy and can be easily and cost-effectively transferred to other businesses. Why not combine them? Further information on energy efficiency in industry and production from: www.industrie-effizienz2.de

Project description.
 In the Geretsried plant, Pulcras Chemicals GmbH produces process chemicals such as dyes and additives for the textile, food and leather industries. Their current energy is generated by using production steam, the plant's steam supply plant a central unit. Due to more stringent emission requirements and higher fuel costs, the company decided in 2008 to increase the energy efficiency of steam generation at the Geretsried plant. To achieve this, the steam generation system was converted with the heat exchanger technology and combustion gas system.

In the original case, the steam content of a steam boiler for generating steam and a high-pressure boiler with a combustion power of 4 MW. However, steam boiler temperatures of up to 200 °C had a low level of boiler efficiency of only 80 percent. To boost system efficiency, the existing high-pressure boiler was replaced with a new, energy-efficient gas boiler, which the process was also retrofitted with an economiser and a two-stage condenser so that the thermal energy present in the flue gas could be utilised. In the new system, the boiler (new) was directly preheated by the hot flue gas. One resulting effect was gas temperature by 100 K to increase boiler efficiency by four percent. With the assistance of the flue gas condenser, the heat of condensation of the water in the flue gas can be recovered in great measure. According to especially suitable to the return temperature of the process streams is particularly low, about 30 °C, the flue gas temperature can be lowered to a particularly low level (down to 40 °C).

Energy efficiency measures.
 — Replacement of the old boiler with a low-NOx gas boiler
 — Retrofit of an economiser
 — Retrofit of a two-stage condenser

Figures which speak for themselves.

Reduction in fuel consumption	140,000,000 kg/year
Percentage energy saving in the year	10 %
CO ₂ reduction	1,000 t/year
Capital costs	240,000 €
Reduction in energy costs	10,000 €/year
Return on investment	24 %

* Annual fuel savings based on a heating value of 40 MJ/kg (lower heating value) and a heating value of 40 MJ/kg (lower heating value) and a heating value of 40 MJ/kg (lower heating value).

Figure 22 – Captures d'écran de la base de données des projets [11] de référence et d'une fiche de présentation d'une bonne pratique [12]

Dans le but de dynamiser la R&D et l'innovation en efficacité énergétique, le gouvernement fédéral allemand a également créé des réseaux d'échange : les « Local Energy Efficiency Networks » (LEEN). Destinés prioritairement aux moyennes entreprises, ces réseaux regroupent 10 à 15 entreprises de différents secteurs et visent à les faire travailler ensemble sur une même cible de réduction des consommations énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre. Pour cela, ces entreprises sont accompagnées par des consultants spécifiquement formés dans ce cadre.

L'Allemagne a l'objectif de développer fortement ce type de réseaux de connaissances pour dynamiser l'efficacité énergétique dans l'industrie. En effet, l'étude des expériences passées menées sur le même modèle en Suisse et en Allemagne a montré la réelle efficacité de ce type d'accompagnement (multiplication par 2 ou 3 du taux moyen d'amélioration de l'efficacité énergétique par rapport aux moyennes nationales).

En conséquence de la sortie du nucléaire et de la réorientation de la production d'énergie vers le charbon, le gaz ou encore le lignite et les gaz de schiste, le Ministre fédéral de l'environnement, Norbert Röttgen, a annoncé le 12 octobre 2011 le lancement d'un nouveau programme national sur l'efficacité des ressources. Ce programme va mettre l'accent en particulier sur l'information, le conseil, la formation et la recherche, ainsi que le renforcement des mesures et initiatives volontaires dans l'économie et la société, comme par exemple :

- le conseil en efficacité auprès de petites et moyennes entreprises,
- le soutien aux systèmes de gestion environnementale,
- l'incorporation de l'efficacité des ressources dans la normalisation technique et les achats publics,
- le renforcement de l'étiquetage des produits et de la certification des systèmes de manière volontaire,
- le développement du recyclage [13].

2.2.2 Les freins à l'innovation en efficacité énergétique

Du côté de l'offre, l'IREES¹¹ a constaté qu'un certain nombre de fournisseurs et équipementiers se refusent à changer les références de leurs produits pour d'autres plus efficaces énergétiquement, et ce pour différentes raisons telles que la volonté d'économiser des capitaux, la visibilité de l'offre « classique » ou encore le respect de l'habitude des clients.

Du côté de la demande, les principaux freins à la mise en place d'équipements innovants en matière d'efficacité énergétique sont le manque d'information sur les gains envisageables et le montant des investissements nécessaires pour la mise en place de technologies plus efficaces.

¹¹ Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien

Les personnes interrogées ont également le sentiment que l'administration au sens large devrait avoir un rôle plus important dans la diffusion d'informations sur les meilleures technologies disponibles en termes d'efficacité énergétique pour changer les pratiques.

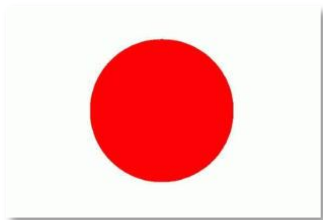
Dans la situation particulière des PME, selon la DENA, le manque de connaissances, le manque de temps, des temps de retour sur investissement trop longs et des investissements trop importants sont les principaux freins à l'innovation en efficacité énergétique dans ces structures. Le besoin de soutien pour faire face à ces freins est donc d'autant plus important vis-à-vis de ces entreprises. Sur cet aspect, des organismes tels que l'IREES étudient non seulement les obstacles mais aussi les motivations qui pourraient pousser des PME à s'impliquer sur des technologies spécifiques.

2.2.3 Conclusion

Comme en témoignent les nombreuses initiatives prises en faveur de la diffusion d'informations et de l'échange de bonnes pratiques, l'Allemagne cherche à inciter les acteurs de l'offre à innover en sensibilisant les acteurs de la demande.

En effet, il semble qu'une grande part du potentiel d'économies d'énergie en Allemagne pourrait être débloquée par une meilleure diffusion des bonnes pratiques en efficacité énergétique, de leurs coûts et des bénéfices potentiels associés.

2.3 Japon



En 2008, le Japon a importé environ 84% de son offre totale d'énergie primaire, soit environ 4 872 TWh [14]. Ces chiffres traduisent bien la situation de dépendance énergétique dans laquelle se trouve aujourd'hui encore le Japon vis-à-vis du reste du monde. Pour faire face à cette situation, le pays a mis en place une politique volontariste d'amélioration de l'efficacité énergétique de son industrie dès la fin des années 70. Grâce aux efforts engagés, la consommation énergétique du secteur industriel est restée relativement stable et son intensité énergétique a diminué d'environ 37% entre 1975 et 2005.

L'industrie reste toutefois le secteur le plus énergivore avec 1009 TWh d'énergie finale consommée en 2008, soit 27% de la consommation tous secteurs confondus. Dans le cadre de la *New National Energy Strategy* établie en 2006, le Japon s'est donc fixé de nouveaux objectifs d'amélioration de l'efficacité énergétique de 30% d'ici 2030, dont 7% dans le secteur industriel, et de 50% d'ici 2050 par rapport à 1990.

L'ANRE (Agency for Natural Resources and Energy), la NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization) et l'ECCJ (Energy Conservation Centre of Japan) sont les 3 principales agences institutionnelles actives dans le domaine de l'efficacité énergétique dans l'industrie. Elles sont toutes des émanations du Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), créées à la fin des années 70 pour réduire la situation de dépendance énergétique du Japon. Elles pilotent la plupart des programmes de soutien à l'efficacité énergétique existants et sont chargées d'apporter le soutien technique, administratif et financier nécessaire aux entreprises pour qu'elles atteignent les objectifs fixés par la réglementation.



La NEDO accorde en particulier un soutien technique, administratif et financier aux projets collaboratifs de R&D, associant la recherche publique et les entreprises privées et ayant un potentiel d'industrialisation dans les 5 à 10 ans.



Les programmes de soutien et réglementations en vigueur concernent en particulier les technologies suivantes :

- La récupération de chaleur BT/HT (principalement les turbines haute pression)
- Les fours (principalement la combustion et la circulation des gaz)
- La résistance thermique des matériaux
- Les échangeurs (principalement la distribution des fluides)
- La séparation (absorption chimique, absorption/adsorption physique, membranes)
- L'intégration énergétique des procédés (réduction des pertes d'exergie)

- L'efficacité énergétique des utilités, et en particulier des cycles combinés (IGCC, IGFC, A-USC), des moteurs, des turbines, des systèmes à air comprimé, de la production de froid, des supraconducteurs (système yttrium) et de la production de vapeur à partir d'air chaud (pompe à chaleur)
- La production d'oxygène dans l'industrie du verre,
- Les systèmes d'électrolyse dans l'industrie du titane
- L'oxydoréduction dans la métallurgie
- Les équipements et systèmes d'information, la modélisation et l'automatisation

L'amélioration de l'efficacité énergétique de ces technologies est attendue notamment pour les procédés de production des secteurs d'activités suivants :

- La production d'électricité à partir de gaz naturel
- La génération d'électricité à partir de charbon
- Le captage et stockage du carbone (CCS)
- L'industrie du verre
- L'industrie du titane
- La métallurgie
- Les technologies transverses

2.3.1 Les programmes de soutien

Le secteur industriel est actuellement concerné par une vingtaine de dispositifs réglementaires et incitatifs en faveur de l'efficacité énergétique. Deux lois fondatrices, l'*Energy Conservation Act* (instauré en 1979 et révisé en 2005) et l'*Energy Conservation and Recycling Assistance Act* (valable jusqu'en 2013), poussent les entreprises japonaises à innover en matière d'efficacité énergétique depuis la fin des années 70.

En 2007, l'*Energy Conservation Act* couvrait 7 457 usines de type 1 à forte consommation d'énergie (consommant plus de 3 000 kL équivalent pétrole de fioul ou plus de 12 GWh d'électricité par an) et 6 094 usines de type 2 à moyenne consommation d'énergie (consommant plus de 1500 kL équivalent pétrole ou plus de 6 GWh d'électricité par an) soit l'équivalent de 80% du secteur industriel [15]. Les entreprises concernées ont l'obligation de [16] :

- Nommer une personne en charge de la gestion de l'énergie dans l'entreprise,
- Etablir un plan de gestion de l'énergie moyen et long terme,
- Fournir un rapport annuel sur les indicateurs de référence du secteur, le ratio d'intensité énergétique et les actions de management de l'énergie mises en œuvre,
- Dans le cas des fournisseurs d'énergie et d'équipements, promouvoir et diffuser de l'information sur les économies d'énergie permises par les équipements.

Afin que les entreprises puissent comparer leur niveau de performance énergétique par sous-secteur, la NEDO a conduit, entre 2004 et 2009, des benchmarks sectoriels dans les industries du fer, de l'acier, du ciment et de l'électricité et développé des indicateurs de référence (ex : consommation d'énergie par tonne d'acier dans l'industrie du fer et de l'acier). Des audits énergétiques ont été réalisés en étroite collaboration avec les entreprises du secteur industriel et les autorités locales. Des objectifs de maîtrise de l'énergie ont ensuite été fixés pour 2015 et 2020 en fonction du niveau d'efficacité énergétique des entreprises les plus performantes du benchmark de chaque sous-secteur (top 10-20%). Chaque usine et lieu de travail doit atteindre une réduction moyenne annuelle d'1% ou plus de sa consommation énergétique totale. Des recommandations ont été formulées à chaque entreprise sur les moyens de minimiser la consommation d'énergie à court terme, par exemple via l'acquisition de technologies économes. Des audits sont réalisés pour les usines de type 1 afin de s'assurer de la conformité de leur système de management. La NEDO publie également la valeur moyenne obtenue pour l'indicateur par sous-secteur et le nom des entreprises les plus performantes. Si les mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique mises en œuvre par une entreprise sont jugées insuffisantes, elle est amenée à lui proposer une prestation de conseil, à publier son nom voire à la menacer d'une amende.

Le programme *Top Runner* fixe des objectifs d'efficacité énergétique pour une vingtaine d'équipements représentant l'équivalent de 70% de la consommation du secteur résidentiel (ex : ordinateurs, télévisions, air conditionné, véhicules de tourisme...). Il impose aux importateurs et aux fabricants de commercialiser des produits à un niveau d'efficacité énergétique supérieur ou égal à la meilleure référence du marché dans sa catégorie. La *National Policy Direction on Energy Conservation* de 2007 prévoit que ce programme soit bientôt élargi à certains



équipements industriels tels que les groupes froids industriels.

L'*Energy Conservation and Recycling Assistance Act* permet à tout acteur économique de soumettre un plan d'activités au ministère compétent et de prétendre à un prêt à taux bonifié pour l'aider dans l'installation d'un nouvel équipement ou la modernisation d'un équipement existant pour améliorer l'efficacité énergétique d'une usine, d'un lieu de travail ou d'un bâtiment en construction ou encore mener des opérations de R&D sur les procédés de fabrication d'un équipement industriel contribuant à la maîtrise de l'énergie.

Au-delà de ces dispositifs réglementaires, le programme de soutien le plus remarquable est le *Cool Earth Innovative Energy Technology Program*, lancé par le gouvernement japonais en 2008 et piloté par la NEDO. Il a vocation à soutenir le développement des technologies innovantes nécessaires à l'atteinte des objectifs de réduction de gaz à effet de serre et d'amélioration de l'efficacité énergétique, pendant les phases de R&D, de mise en place de démonstrateurs, d'industrialisation et de mise sur le marché. Il vise aussi à renforcer les actions de coopération internationale pour accélérer le développement d'innovations technologiques dans les domaines du CCS, du charbon propre, du nucléaire, des piles à combustible. Le gouvernement a fait le choix de 21 technologies. Des feuilles de route ont été définies pour en suivre le développement jusqu'en 2050[17].

La NEDO accorde 4 types de financements directs aux entreprises japonaises dans le domaine de l'amélioration de l'efficacité énergétique :

- Les subventions à l'acquisition d'équipements ou de technologies économes en énergie : 331 projets ont été approuvés en 2007 dont 94 dans le secteur industriel sur les thématiques suivantes : amélioration de process, récupération de chaleur, amélioration de l'efficacité énergétique d'équipements industriels, recyclage, ESCO.
- Les subventions pour la réalisation de diagnostics de performance énergétique ayant pour finalité l'identification et la mise en place de technologies économes en énergie.
- Les subventions aux TPE et PME souhaitant faire appel à une ESCO pour les aider à améliorer au mieux l'efficacité énergétique de leurs installations.
- Les subventions aux projets de R&D : les projets de recherche de pointe sont financés à 100% du montant global, les projets de démonstrateurs à 50% et le développement d'applications à 2/3. Par exemple, 84 projets ont été approuvés en 2005 sur les thématiques suivantes : les procédés de fusion de minerai innovants, les technologies de production de carbure de silicium, la production de chaleur par des turbines haute pression, la séparation d'air à basse température utilisant des colonnes de distillation thermique intégrée (HIDIC).

Pour les PME, le financement d'équipements est plafonné à 720 millions de yens pour un « prêt direct » accordé par la *Japan Finance Corporation* et à 120 millions de yens pour un prêt accordé par le biais de la banque du bénéficiaire. La période maximale du prêt est de 15 ans, dont 2 ans sans mensualités. Des crédits d'impôts et amortissements dérogatoires sont également accessibles.



Enfin, l'*Energy Bank*, créée en 2007 par la Banque de Développement du Japon (DBJ), l'entreprise Japan Smart Energy (cabinet d'expertise comptable spécialisé dans les enjeux environnementaux) et Osaka Gas Co, finance également des infrastructures et équipements aidant à réduire les émissions de CO₂ et/ou les consommations en énergie : l'investissement initial est pris en charge par la Banque et non le client, et le service énergétique est opéré par Osaka Gas qui met en place et gère les installations et assure le suivi de la consommation énergétique.

Sensibilisation, diffusion de l'information et valorisation des bonnes pratiques

Au-delà des benchmarks sectoriels et conseils diffusés par la NEDO, l'ANRE fournit des *Guidelines for Energy Management in Industry* aux entreprises, notamment aux fournisseurs d'énergie, pour les aider dans la mise en place de leur programme de maîtrise de l'énergie [18].

Afin de faciliter les progrès en matière d'efficacité énergétique, les fournisseurs d'énergie doivent aussi communiquer auprès de leurs clients sur les informations utiles à une meilleure maîtrise de l'énergie telles que le suivi des consommations, le niveau d'efficacité énergétique des équipements et les aides disponibles pour améliorer leur niveau d'efficacité énergétique.

Promotion des projets collaboratifs

Afin de favoriser la mise en œuvre de projets de partenariats entre plusieurs entreprises pour réaliser des économies d'énergie, la *National Policy Direction on Energy Conservation* de 2007 prévoit que les projets mis en œuvre entre des PME et des grandes entreprises ou au sein de complexes industriels, intitulés *Joint Energy Saving Business*, bénéficient d'aides supplémentaires.

2.3.2 Les freins à l'innovation en efficacité énergétique

Au Japon, les freins à l'amélioration de l'efficacité énergétique se situent principalement du côté de la demande.

Comme vu précédemment, la réglementation nationale contraint les entreprises à respecter des objectifs d'amélioration d'efficacité énergétique toujours plus élevés. Les mesures les plus faciles et les moins chères ont déjà été mises en œuvre. Aussi, le coût d'acquisition de nouveaux équipements plus efficaces énergétiquement est-il de plus en plus élevé pour les entreprises.

Malgré les efforts de diffusion de l'information et de clarification de l'offre, le manque de compréhension des gains énergétiques apportés par les innovations, représente également une barrière à l'investissement dans des technologies plus efficaces [19]

Au-delà du facteur coût, une certaine résistance à l'intégration de nouveaux équipements est constatée au sein des entreprises lorsque les process sont installés et fonctionnent depuis longtemps.

Enfin, la crise économique de 2008 aurait provoqué un ralentissement des investissements en matière d'innovation.

Côté technologies, l'ECCJ a fait l'exercice de répertorier l'ensemble des freins et enjeux associés à l'innovation en matière d'efficacité énergétique par sous-secteur en 2008 [20]. En voici quelques exemples :

- Dans le secteur du papier et de la pâte à papier :
 - Qualité du papier impacté négativement par l'utilisation de procédés plus efficaces énergétiquement
 - Difficulté de développer des technologies de déshydratation plus efficaces
 - Besoin d'améliorer l'efficacité énergétique des fours caustiques et difficultés d'amélioration des technologies de filtration à haute température
 - Besoin de R&D sur des champignons capables de décomposer la lignine et des enzymes pour augmenter la vitesse de la réaction, et d'industrialisation
 - Besoin d'augmentation de la génération d'électricité par l'utilisation efficace de liqueur noire...
- Dans le secteur du textile :
 - Mise en place de procédés de décompression à haute efficacité énergétique
- Dans la pétrochimie :
 - Développement de procédés de séparation par membrane à haute efficacité énergétique
- Dans la sidérurgie :
 - Besoin de développement de technologies de moulage en coulée continue sans défaut
 - Besoin de développement sur la récupération de la chaleur et les procédés de production d'acier et coke
 - Difficulté de développement de turbines tolérant les hautes températures

2.3.3 Conclusion

Comme vu précédemment, le Japon a développé une forte culture de l'innovation en matière d'efficacité énergétique dans l'industrie. Reconnu pour son leadership dans ce domaine, il a même été désigné en 2010 pour animer le groupe de travail *Energy Management Action Network for Industrial Efficiency* (EMAK Task Force) de l'*International Partnership on Energy Efficiency Cooperation* (IPEEC).



Les efforts de diffusion de l'information et de valorisation des bonnes pratiques sont déjà importants. Afin de maintenir une dynamique constante d'innovation et sa position de leader, le Japon s'est fixé une feuille de route qui détaille le calendrier de développement des innovations par technologie sur les 10 à 40 prochaines années.

2.4 Norvège



En Norvège, l'industrie est le secteur le plus énergivore avec environ 80 TWh d'énergie consommée en 2010, soit 37% de la consommation totale du pays¹². La métallurgie, l'industrie chimique et l'industrie de la pâte à papier représentent environ 71% de la consommation d'énergie du secteur. Entre 1990 et 2007, la consommation d'énergie de l'industrie a augmenté de 10% au total et de 32% dans la métallurgie tandis qu'elle est restée relativement stable dans l'industrie de la pâte à papier [21].

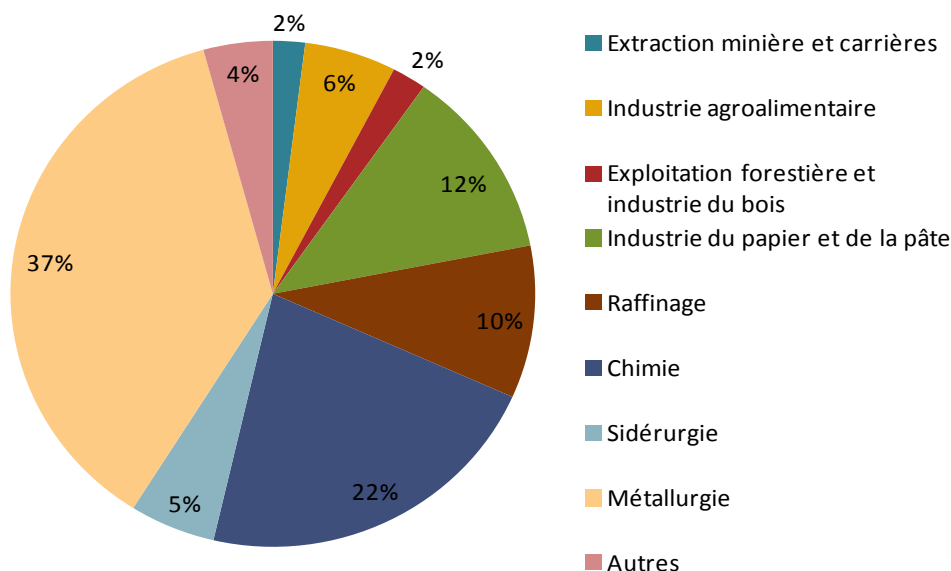


Figure 23 – Répartition de la consommation finale d'énergie du secteur industriel en 2010

L'intensité énergétique a toutefois diminué de 1.9% par an entre 1990 et 2007. Les plus gros efforts ont été réalisés dans les années 1990. Les politiques et mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique mises en place depuis 1990 ont contribué à augmenter l'efficacité énergétique de 13%, soit 0.7% par an. Depuis l'an 2000, l'intensité énergétique de la Norvège continue de diminuer mais est désormais légèrement supérieure à l'intensité énergétique moyenne de l'Europe des 27. Dans le secteur industriel, l'efficacité énergétique a globalement diminué entre 1990 et 2000, puis s'est améliorée entre 2000 et 2007.

Si l'on considère le budget alloué à des actions de R&D dans le domaine de l'énergie par habitant, la Norvège se situe au 3^{ème} rang des pays membres de l'IEA [22]. En pratique, une part importante des revenus générés par les activités pétrolières du pays est placée au sein d'un fonds de pension gouvernemental, le *Statens pensjonsfond utland*, d'une valeur de 257 milliards d'euros fin 2008, et réinvestie dans le secteur de l'énergie, en particulier dans le domaine de l'efficacité énergétique ou des énergies renouvelables [23]. Cette part a triplé entre 2007 et 2009 [24]. A partir de 2011, il est question que la part des investissements réservés à l'exploration offshore [23] baisse au profit des programmes de R&D soutenus par le Ministère du Pétrole et de l'Energie norvégien dans les domaines des technologies de la capture et de la séquestration du carbone, de l'hydrogène et d'autres technologies sobres en carbone [25]. Le parlement norvégien a également créé l'*Energy Fund* pour soutenir les investissements relatifs à l'efficacité énergétique et à la politique énergétique en général. Il est constitué à la fois d'un fonds d'investissement de 10 millions d'euros et d'un budget de 650 millions d'euros, alimenté par diverses taxes et impôts sur les tarifs de distribution de l'électricité, dédié à l'attribution de subventions en soutien aux actions d'Enova [26].

2.4.1 Les programmes de soutien

Créé en 2002 par le Ministère du Pétrole et de l'Energie, Enova est l'acteur institutionnel le plus important du soutien à l'innovation en matière d'efficacité énergétique, au stade du démonstrateur. Il disposait d'un budget de 10 milliards de NOK en



¹² http://www.ssb.no/energiregn_en/

2007 et 20 milliards de NOK depuis 2009[27]. Toutes les entreprises ayant un projet permettant de réduire leur consommation énergétique de plus de 0.5 GWh peuvent demander une aide à l'investissement à Enova dans le cadre de son programme *Reduced Energy Use – Industry*. Ce programme couvre la mise en place de solutions ou de procédés permettant d'améliorer l'efficacité énergétique globale, la récupération d'énergie, la valorisation de chaleur perdue ou encore la conversion à des énergies renouvelables. La subvention ne peut dépasser 20% du coût total éligible.

Les entreprises doivent fournir des données relatives à leur production et à leur consommation d'énergie dans les 5 ans suivant la fin de leur projet. Une base de données en ligne est renseignée une fois par an par les entreprises. Enova diffuse ensuite des chiffres de référence sur les consommations d'énergie dans chaque sous-secteur industriel (*Specific Energy Consumption – SEC* en kWh/kg) et les données transmises par les entreprises de manière anonyme. Actuellement, 43 benchmarks différents ont été établis à partir des données des 800 entreprises ayant participé au programme. Les valeurs communiquées permettent aux entreprises ayant participé ou non au programme, de se comparer entre elles dans un même sous-secteur¹³. Ce reporting était précédemment réalisé dans le cadre du *Norwegian Energy Efficiency Network*.

Lancé en 2004, le *Tax incentive scheme for pulp and paper industry* est un dispositif fiscal à destination des entreprises du secteur du papier et de la pâte à papier. Elles ont la possibilité de participer à un programme en 5 ans, dans lequel elles s'engagent à respecter certaines obligations, au risque de devoir payer des pénalités. Les entreprises se voient exemptées du paiement de la taxe sur l'électricité utilisée dans les process de production pendant cette période. Ce programme vise à améliorer l'efficacité énergétique des entreprises les plus consommatrices d'énergie et où le potentiel d'économies d'énergie est particulièrement important.

Lancé en 2004, le programme multisectoriel *Clean Energy for the Future* ou *RENERGI* intervient également en support aux programmes de R&D et notamment au développement de démonstrateurs [24]. RENERGI couvre les thématiques suivantes : la production d'énergies renouvelables, l'hydroélectricité, l'efficacité énergétique, les systèmes de management de l'énergie, les sciences sociales dans l'énergie, l'hydrogène, le gaz naturel et l'énergie dans les transports. Il accorde des subventions aux industriels, aux instituts de recherche indépendants et aux universités.

Plus globalement, le système européen d'échanges de quotas de CO₂, dans lequel est entré la Norvège, participe également à l'amélioration de l'efficacité énergétique des entreprises norvégiennes dans les secteurs de la production de pétrole, du raffinage, de la sidérurgie, du ciment et de la chaux, du papier et de la pâte à papier, du verre et dans une partie du secteur de la production d'énergie.

Enfin, les *Strategic Institute Programmes*, coordonnés et financés par le *Research Council of Norway*, apportent un soutien dans les phases amont des programmes de R&D. Ils sont portés par des laboratoires conduisant des projets de recherche pour le compte d'industriels.



Forces et faiblesses du programme de soutien à la R&D en matière d'efficacité énergétique d'Enova

En 2005, Enova a commandité une étude auprès de l'AID-EE (*Active Implementation of European Directive on Energy Efficiency*) pour analyser les points forts et les points faibles de son programme de soutien à la R&D dans le domaine de l'efficacité énergétique [28]. Les conclusions suivantes avaient été rapportées :

- La complexité des procédures à suivre pour candidater à un programme freine parfois les industriels (notamment les PME).
- La visibilité est cruciale : bien « marketer » le programme est essentiel à sa diffusion auprès des acteurs et à son succès en général.
- La présence de consultants/conseillers conditionne la visibilité des programmes : la promotion du programme de manière personnalisée en fonction du segment industriel conditionne en partie l'intérêt qui sera généré au sein du marché.
- Le rapport subvention sur coût global est un facteur déterminant : le fait que la majorité des subventions se concentrent sur les coûts initiaux contribue fortement à l'adoption de nouveaux équipements plus efficaces énergétiquement. En revanche, cette aide doit être plafonnée afin de limiter les motivations frauduleuses de certains acteurs (renter dans le programme avec comme finalité de percevoir une source de revenus d'Enova sur de l'ingénierie).

¹³ <http://www.enova.no/industrinettverk/>

- La création d'un réseau d'industriels a été un facteur de succès pour relayer des informations sur l'existence du programme et donc favoriser sa diffusion.
- La mise en place d'audits énergétiques réguliers (dans un intervalle de 5 ans) a été l'un des souhaits formulés par le panel d'industriels ayant participé aux programmes. Ces audits (sous impulsion d'Enova) permettant de suivre la performance individuelle (de chaque industriel) et collective (sous forme de benchmark de filière) et donc de diffuser des connaissances et savoir-faire susceptibles d'améliorer l'efficacité énergétique de manière continue.

2.4.2 Les freins à l'innovation en efficacité énergétique

Jusqu'à la fin des années 90, l'un des principaux freins à l'instauration de programmes de R&D en efficacité énergétique était le faible coût de l'énergie en Norvège. Même si le coût de l'énergie a augmenté pour les entreprises depuis la dérégulation des marchés de l'énergie et la mise en place d'une taxe carbone en 2004, il resterait inférieur à 5% des coûts globaux pour la plupart des entreprises, à l'exception des industriels de la métallurgie pour lesquels il représenterait 10 à 20 % de leurs coûts globaux. Selon l'AID-EE, le coût de l'énergie est encore trop faible pour la plupart des industriels pour enclencher une véritable dynamique d'innovation en matière d'efficacité énergétique [28].

Un second frein à l'amélioration de l'efficacité énergétique dans l'industrie se situe du côté de la demande, chez les industriels exploitants. Selon l'AID-EE, le manque de veille et de connaissances des équipements et des systèmes efficaces énergétiquement de la part des PME norvégiennes reste un obstacle à l'introduction de nouvelles technologies plus efficaces énergétiquement. Dans une étude menée par Enova en 2005, la moitié des industriels interrogés ignoraient l'existence du programme d'efficacité énergétique d'Enova [28].

Le manque de moyens financiers constitue également un frein, notamment pour les PME.

2.4.3 Conclusion

Le soutien à l'efficacité énergétique est encore récent en Norvège. Il s'agit principalement d'un soutien financier aux acteurs de l'offre initié au début des années 1990. Depuis 2004, ce soutien s'élargit à des dispositifs fiscaux (exemption de taxes) et intersectoriels.

En revanche, la Norvège ne fait pas encore particulièrement figure d'exemple en matière d'incitations réglementaires (normes, étiquetage), de diffusion de l'information et d'éducation, de coopération, de mise en place d'instruments de marché ou encore de programmes exemplaires.

2.5 Analyse croisée

2.5.1 Les technologies privilégiées

Le Tableau 8 présente les différentes thématiques technologiques abordées dans les différents pays étudiés.

	Etats-Unis	Allemagne	Japon	Norvège
Energie thermique : production, valorisation, optimisation des systèmes, récupération de chaleur BT/HT, production de vapeur par pompe à chaleur	•	•	• (Turbines haute pression)	•
Combustion, flexibilité des carburants/intrants, circulation des gaz	•		• (Carbure de silicium)	
Production de froid		•	•	
Cycles combinés (IGCC, IGFC, A-USC)	•		•	
Séparation (membranes, absorption, adsorption)	•		• (HIDIC)	
Nouveaux matériaux / résistance thermique des matériaux	•		•	
Procédés de production de nanomatériaux	•			
TIC, capteurs, modélisation, automatisation	•		•	
Systèmes convoyeurs		•		
Systèmes d'air comprimé		•	•	
Système d'électrolyse (industrie du titane)			•	
Pompes		•		
Oxydoréduction / réduction d'hydrogène			•	
Intégration énergétique des procédés, analyse des flux d'exergie			•	
Supraconducteurs			•	
Fluides d'échange thermique			•	
Moteurs / turbines		•	•	

Tableau 8 – Présentation synthétique des technologies ciblées par les programmes dédiés à l'efficacité énergétique dans l'industrie aux Etats-Unis, en Allemagne, au Japon et en Norvège

Cette analyse permet de faire ressortir que le thème de l'énergie thermique est le seul sujet sur lequel la totalité des pays développent des programmes de soutien à l'émergence de technologies moins énergivores. La répartition des autres thématiques est dispersée en fonction des différents pays sans que l'on observe réellement de consensus sur ces technologies. Le Japon est le pays qui couvre la plus grande majorité des thèmes identifiés.

2.5.2 Les freins à l'innovation

Le Tableau 9 ci-dessous présente les différents freins identifiés dans les différents pays étudiés. Croisé avec les freins cités par les acteurs en France dans le cadre de l'enquête, le tableau met en relief les divergences et points communs entre les freins à l'innovation existants en France et dans les autres pays.

	Etats-Unis	Allemagne	Japon	Norvège	France
Manque de motivation des collaborateurs	•			•	
Résistance au changement	•		•	•	•
Limitations structurelles à la mise en œuvre de projets transverses	•				
Coûts masqués (temps de coordination, pertes d'exploitation)	•				
TRI trop long	•	•			•
Manque de moyens financiers du côté de l'offre	•	•		•	•
Réticence des acteurs de la demande	•	•			•
Manque d'information sur les meilleures technologies disponibles		•			•
Manque de connaissances des acteurs de la demande		•		•	•
Manque de lisibilité des gains énergétiques apportés par les innovations			•	•	•
Manque de temps		•			
Manque de moyens financiers pour acquérir les nouveaux équipements			•		•
Impact négatif sur la qualité des produits					
Faible coût de l'énergie non incitatif				•	•

Tableau 9 – Présentation synthétique des freins à l'amélioration de l'efficacité énergétique et à l'innovation observés aux Etats-Unis, en Allemagne, au Japon et en Norvège et mise en regard avec ceux repérés en France

Les deux freins à l'innovation en efficacité énergétique qui font presque l'unanimité dans ces 5 pays sont la réticence au changement, et les difficultés à financer la R&D (Tableau 9). Ce tableau montre également que par rapport à l'Allemagne, les Etats-Unis, la Norvège et le Japon, les verrous français se concentrent particulièrement sur les difficultés de diffusion des innovations. Les industriels en France sont très peu demandeurs d'équipements performants énergétiquement. Ces industriels sont peu sensibilisés et informés. Ils n'ont pas les moyens d'intégrer les équipements. En effet, ils ne sont pas aidés financièrement et, avec un coût de l'énergie trop faible et des temps de retour sur investissement trop longs, ces technologies ne sont pas suffisamment rentables. Le problème en France est moins lié à un manque de motivation de la part des acteurs de l'offre, ni aux éventuelles conséquences négatives des nouveaux équipements une fois intégrés chez l'industriel. Par rapport à ces 4 autres pays, faute de soutien spécifique d'ampleur suffisante, le financement de l'installation des technologies innovantes verrouille l'émergence de ces innovations en France.

Conclusions

L'industrie offre, en France, des opportunités significatives d'économies d'énergie, chiffrées à 20% d'ici 2020. Cette étude présente un panorama de la chaîne de valeur de l'innovation en efficacité énergétique dans l'industrie, avec les jeux d'acteurs, leurs enjeux, ainsi que leurs besoins pour mener à bien leurs projets d'efficacité énergétique. Le point focal est la conception d'équipements innovants et leur mise sur le marché par des équipementiers, question par ailleurs indissociable des contraintes et des motivations des industriels par rapport à ce type de question.

En posant ces constats, cette étude fournit à chaque entreprise des éléments concrets pour se positionner sur le marché industriel français. Qu'il s'agisse des attentes technologiques des différents secteurs, ou des organismes susceptibles d'apporter leur aide, financière ou technique, au développement de projets, les éléments mis en avant permettent d'identifier les axes à creuser ou les points d'attention clefs pour chacune des étapes de développement de projets de recherche.

Les organismes de soutien trouveront un descriptif concret des enjeux des équipementiers et des industriels, nécessaires pour la création ou l'amélioration de mesures de financement, d'accompagnement ou d'autres types de soutien qui soient vraiment adaptées au secteur ou au type d'acteur visé. En particulier, les besoins de financement des démonstrateurs industriels ont été spécifiquement plébiscités.

Au-delà de ce rôle de guide de réflexion, des recommandations sont proposées à des échelles qui dépassent les entreprises pour structurer une filière au niveau national. En les présentant ici, il est possible de fédérer l'ensemble des parties prenantes autour de ces initiatives, condition sine qua non pour qu'elles soient efficaces et se démarquent du foisonnement actuel d'idées et de sources d'information. Il ne s'agit pas pour autant de réinventer des structures parfois déjà en place, mais bien de s'appuyer sur certaines pour atteindre la légitimité et la taille critique nécessaire à leur reconnaissance par l'ensemble du tissu industriel, et ainsi à leur essor.

Dans cette optique de réutiliser l'existant plutôt que de le réinventer, un panorama des mesures prises dans quelques pays particulièrement novateurs en matière d'efficacité énergétique donne les clefs de certaines bonnes pratiques réutilisables. Les succès rencontrés par les politiques qui y sont prises pourront inspirer des mesures françaises, même si des spécificités nationales fortes, technologiques, économiques et culturelles, demandent une réelle adaptation pour un développement qui connaîtra le même succès.

Les premières propositions du groupe de travail « Industrie » de la Table ronde nationale pour l'efficacité énergétique, lancée en Juin 2011 par le Ministère du développement durable confirment ces constats, et couvrent une partie de certains verrous et besoins identifiés dans cette étude tels que :

- Le besoin de soutenir et de dynamiser la demande en équipement plus efficace. L'une des propositions consiste à supporter les acteurs de la demande en incitant les entreprises à réaliser des opérations d'économies d'énergie en subventionnant l'acquisition d'équipements plus performants.
- Le besoin d'information relative à l'efficacité énergétique. Le groupe de travail propose la mise en ligne d'un site Internet dédié aux entreprises centralisant les informations relatives à l'efficacité énergétique (bonne pratique, meilleurs technologies disponibles, référencement des mécanismes de soutien...)

Des problématiques spécifiques apparaîtront dans chaque contexte sectoriel ou technique particulier. Les éléments présentés dans ce document offrent cependant une base sur laquelle s'appuyer pour amorcer ces réflexions, et lancer les programmes de recherche ou d'investissement qui dessineront le panorama énergétique français de demain.

Bibliographie

- [1] IEA. (2009) World Energy Outlook. [Online]. <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2009/weo2009.pdf>
- [2] CGDD, « La consommation d'énergie dans l'industrie de 1993 à 2009 » - Commissariat général du développement durable – Avril 2011., 2011.
- [3] EnergiePlus, Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie – EnergiePlus N°471 du 15 Septembre 2011 – p. 6-7., 2011.
- [4] CEREN, <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=19795>., 2006.
- [5] Comité Stratégique des Eco-Industries (COSEI). (2011, Juin) Le financement public de l'innovation dans les filières vertes. [Online]. <http://www.industrie.gouv.fr/eco-industries/cosei/cosei-innovation-240611.pdf>
- [6] ANR, Chiffres clés 2010. Support de communication diffusés par l'ANR., 2011.
- [7] ADEME. (2010) Notre carte d'identité - Budget 2011. [Online]. <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=13089>
- [8] Oséo. (2010) Financer sa croissance. [Online]. <http://www.oseo.fr/>
- [9] TOTAL - ADEME, "Présentation du programme TOTAL - ADEME," in *Salon Pollutec du 30 novembre au 3 décembre 2010*, Lyon, 2010.
- [10] U.S. Department of Energy EERE. (2007, Février) energy.gov. [Online]. http://www1.eere.energy.gov/industry/financial/pdfs/itp_stage_gate_overview.pdf
- [11] DENA. (2011, Août) EnergieEffizienz - Referenzprojekte. [Online]. <http://www.industrie-energieeffizienz.de/dena-referenzprojekte.html>
- [12] DENA. (2011) Energy efficiency in heating systems in industry and production. [Online]. http://www.industrie-energieeffizienz.de/fileadmin/InitiativeEnergieEffizienz/referenzprojekte/images/Technologien/Fact_Sheet_energieeff_Waermeversorgung_und_Beispiele_englisch.pdf
- [13] Bundesministerium für Umwelt (BMU). (2011, Octobre) Deutsches Ressourceneffizienzprogramm. [Online]. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/beschluss_progress.pdf
- [14] IEA. (2008) Country Statistics : Japan. [Online]. http://www.iea.org/stats/balancetable.asp?COUNTRY_CODE=JP
- [15] IEA. (2008) Japan Revised Energy Conservation Act. [Online]. <http://www.iea.org/textbase/pm/?mode=pm&id=4394&action=detail>
- [16] IEA. (2008) Energy policies of IAE countries_Japan Review. [Online]. <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/japan2008.pdf>
- [17] METI. (2008) Cool Earth Innovative Energy Technology Program. [Online]. <http://www.meti.go.jp/english/newtopics/data/pdf/031320CoolEarth.pdf>
- [18] ECCJ. (2004) Guidelines for Preparing Medium- and Long-Term Plans in the Manufacturing Industry. [Online]. http://www.asiaeec-col.eccj.or.jp/law/fac1_e.html
- [19] Reddy, Amulya K.N. (1990) Barriers to improvements in energy efficiency. [Online]. <http://www.amulya-reddy.org.in/Publication/20-BARRIERS-sri.pdf>
- [20] ECCJ. (2008) Challenges in typical energy conservation technology development. [Online]. <http://www.asiaeec-col.eccj.or.jp/databook/2007e/pdf/07.pdf>
- [21] IEA. (2008) Country statistics - Norway. [Online]. http://www.iea.org/stats/balancetable.asp?COUNTRY_CODE=NO
- [22] IEA. (2011) Energy Policies of IEA Countries - Norway - Executive summary and key recommendations. [Online]. <http://www.iea.org/Textbase/npsun/norway2011sum.pdf>

- [23] Ubifrance et les Missions économiques. (2010) Fiche pays Norvège. [Online]. <http://www.ubifrance.fr/logistique/userdocument.axd?id=001b1005067a>
- [24] IEA. (2008) Country Energy Efficiency programs - Norway. [Online]. <http://www.iea.org/textbase/pm/?mode=pm&action=view&country=Norway>
- [25] Ministère du Pétrole et de l'Énergie, Norvège. (2011) Site officiel. [Online]. <http://www.regjeringen.no/en/dep/oed.html?id=750>
- [26] Enova. (2011) Site officiel. [Online]. www.enova.no
- [27] Odyssee Indicators. (2008) Country profile : Norway. [Online]. http://www.odyssee-indicators.org/publications/country_profiles/PDF/nor.pdf
- [28] AID-EE / Ecofys. (2006, Mars) Evaluation of the Industrial Energy Efficiency Network in Norway. [Online]. www.aid-ee.org/documents/013IndustrialEnergyEfficiencyNetwork-Norway.PDF
- [29] EnergiePlus N°471, Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie – EnergiePlus N°471 du 15 Septembre 2011 – p. 6-7., 2011.
- [30] MEDDTL, <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Premieres-propositions,24595.html>, 2011.
- [31] Philippe Jamet, "Aperçus sur l'énergie aux Etats-Unis," 2006.
- [32] ANR. (2010) Rapport d'activité. [Online]. http://www.agence-nationale-recherche.fr/fileadmin/user_upload/documents/2011/ANR-Rapport-annuel-2010.pdf
- [33] ENERDATA. USA - intensité énergétique. [Online]. <http://yearbook.enerdata.net/energy-intensity-GDP-by-region.html>
- [34] LES ENERGIES RADIANTES : transfert d'énergie par rayonnement – ADEME Département Industrie et Agriculture – Publication du 20/06/2006.
- [35] METI, "Law for Energy Conservation and Recycling Support," 2008.
- [36] Commissariat général à l'investissement. (2010, Novembre) Investissements d'avenir. [Online]. <http://investissement-avenir.gouvernement.fr/content/action-et-projets>
- [37] Enerdata. (2009) Energy intensity - world statistics. [Online]. <http://yearbook.enerdata.net/energy-intensity-GDP-by-region.html#/primary-energy-consumption-variation.html>
- [38] IEA. Définition de la Banque de l'Énergie Japonaise. [Online]. <http://www.iea.org/textbase/pm/?mode=cc&id=3984&action=detail>
- [39] IEA. (2008) Country Statistics : Japan. [Online]. http://www.iea.org/stats/balancetable.asp?COUNTRY_CODE=JP
- [40] IEA. (2008) Country statistics - USA. [Online]. http://www.iea.org/stats/balancetable.asp?COUNTRY_CODE=US
- [41] TOTAL - ADEME. (2010, Décembre) 6ème Appel à manifestation d'intérêt : Programme TOTAL/ADEME sur l'efficacité énergétique dans l'industrie. [Online]. <http://www.clubinternational.ademe.fr/servlet/getBin?name=6A4CC1D6CCBB437D586E44123C8196001291294853966.pdf>

Contacts ADEME- TOTAL

ADEME

Service Entreprises et EcoTechnologies

A l'attention de Mme Hélène RIVIERE-KALUC

20 avenue du Grésillé

BP 90406

49004 Angers cedex 01

TOTAL

Direction Scientifique

A l'attention de M. Jean-Paul GOURLIA

& Mme Mai RICHE

2 Place Jean Millier

La défense 6

92400 Courbevoie

ADEME		TOTAL	
courriel : programme.total@ademe.fr		courriel : holding.dg-ds-prg-ademe@total.com	
Hélène RIVIERE-KALUC		Jean-Paul GOURLIA	Mai RICHE
Tél : 02 41 91 40 21		Tél : 01 47 44 82 96	Tél : 01 47 44 33 77
ENEA Consulting			
courriel : louis-marie.jacquelin@enea-consulting.com			
Louis-Marie Jacquelin			
Tél : 01 82 83 83 87			