

## **Energie / Transition énergétique : Multicritères, autonomie de jugement et enjeux**

Jamil Abdul AZIZ, Jean Marc LANGE, Eric DELAMOTTE

*ESPE de l'académie de Rouen-UMR 6614-CORIA ; CIVIIC (EA 2657) ; GRIHS*

### Résumé

La transition énergétique est l'un des enjeux et défi clé de la transition écologique en vue d'un développement durable. Pour autant, celle-ci ne peut s'envisager sans la participation active des publics à cette démarche. L'éducation pensée dans toute sa plénitude, et non sous sa forme édulcorée et dégradée de communication, en constitue alors un enjeu central. Pour autant, il y a besoin de disposer d'un référent fiable incluant les savoirs à maîtriser, les données et les influences politico-idéologiques, les scénarios, les indicateurs, les débats, les tensions, les controverses dont elle est l'objet. C'est ce référent qui fait l'objet de cet article. Il fera l'objet ultérieurement d'une analyse curriculaire.

### Mots Clés

Transition énergétique, développement durable, médiatisation, éducation, curriculum

L'énergie est cruciale pour l'amélioration du bien-être social et économique, et elle est indispensable le plus souvent à la création de richesses industrielles et commerciales. Elle est capitale pour la réduction de la pauvreté, l'amélioration du bien-être et l'élévation des niveaux de vie. Mais aussi essentielle soit-elle pour le développement, l'énergie n'est qu'un moyen vers une fin. Et cette fin est la bonne santé, un niveau de vie élevé, une économie durable et un environnement propre<sup>125</sup>. La France, l'Europe et l'international sont à l'heure d'une transition énergétique imposée par des tendances irréversibles et des contraintes multiples. Dans ce contexte, se pose la question de la place de l'éducation. Trop souvent rabattue dans les discours sur une conception simpliste d'une communication linéaire, elle est bien au contraire un processus de médiatisation ce qui signifie des successions de re-créations, ce que la didactique a nommé transposition, au service de l'appropriation par les publics des savoirs et des enjeux. Ce principe éducatif a été exprimé pour la première fois par John Dewey : l'éducation est la condition même de la démocratie et vise à permettre le jugement des publics des décisions des représentants de la « chose publique ».

---

<sup>125</sup> Indicateurs énergétiques du développement durable : lignes directrices et méthodologies ; IAEA, DAES (ONU), IEA, Eurostat, Agence européenne pour l'environnement ; ISBN 978-92-0-209408-6 ; Sep. 2008

Comprendre les enjeux, se les approprier, se construire une « opinion raisonnée » puis en débattre et s'engager sur le chemin de l'action individuelle et collective constituent les finalités d'une éducation à un développement durable dont la question énergétique est l'un des défis principaux. La question de la circulation des savoirs est donc au cœur des problématiques éducatives sociétales. Mais ces savoirs sont hybrides, incertains et sous influence, multiples et complexes : ils remettent en cause le rôle coutumier de l'École à distinguer le juste et le faux. Pour se faire, il y a besoin de disposer d'un référent. Ce référent est nécessaire pour analyser par contraste les curricula scolaires existants et pour mettre à l'épreuve les bases d'un curriculum possible sur ces questions. En effet, une transition énergétique est un choix qui nous interroge sur nos ressources et gisements propres, nos différents moyens de production avec des contraintes divers (technique, socio-économique, politique et géopolitique, environnementale), notre consommation et notre mode de vie, notre comportement actuel et dans un avenir proche. Tout cela nécessite de connaître le maximum d'information, de données caractéristiques et des indicateurs sur ces paramètres qui manquent cruellement - pour des raisons divers et multiples - pour guider nos choix. Ici, nous allons examiner le bilan énergétique de la France, procéder à une comparaison rapide avec le bilan énergétique de l'Allemagne, puis nous donnerons un aperçu en matière de sources énergétiques utilisées au niveau mondial et leur répartition régionale. Puis nous recenseront et expliciterons les indicateurs mobilisables pour penser l'idée de transition elle-même.

## Energie et transition énergétique

Un débat, un choix, une transition énergétique ne peut être bénéfique pour une nation si le citoyen ne dispose pas des indicateurs, des critères pour assumer ses choix et son avenir énergétique. Des critères et des indicateurs multiples seront détaillés pour étayer le débat vers un choix énergétique durable et responsable pour une transition énergétique vertueuse pour les générations actuelles et futures. Pour un pays donné, le plus simple pour parler d'énergie, de transition énergétique, d'éducation, de formation, de choix énergétique, c'est de regarder son bilan énergétique. Ce bilan permet de comprendre ses ressources et gisements propres, de rendre visible ses propres sources, réserves et techniques de production, d'identifier les alternatives possibles et d'établir des stratégies en matière d'éducation et de formation. Souvent, pour une problématique donnée (économique, énergétique, éducation et formation, environnemental...) on évoque les expériences des pays voisins pour éclairer des choix, faire une comparaison raisonnée, influencer ou aider à une prise de décision. En France, c'est l'Allemagne qui est prise comme exemple pour une telle comparaison.

## Le Bilan énergétique de la France

Un bilan énergétique est une source importante de renseignements sur l'état du système énergétique d'un pays. Une publication régulière éditée par le service de l'observation et des statistiques du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie constitue une référence officielle pour le bilan énergétique de la France. La figure 1 montrant d'une manière synthétique les flux énergétiques entrants ressources / **énergies** / production **primaires** et en sortie la **consommation finale** stabilisé pour fin 2010<sup>126</sup>. Se basant sur les données énergétiques pour fin 2011<sup>127</sup>, la figure 2 a le mérite de donner quelques détails sur l'usage final de la consommation énergétique par type d'énergie et par secteur d'activité. On constate qu'à partir de cinq ressources primaires (charbon, pétrole, gaz naturel, production nucléaire, énergies renouvelables et déchets nous avons en sortie six produits énergétiques finaux (charbon combustible, produits pétroliers, gaz, électricité, chaleur et carburant à partir de la biomasse). Un tableau de synthèse donne les caractéristiques les plus marquants d'un bilan énergétique pour la France :

1. Consommation primaire net de 256,73 Mtep (million **tonne équivalent pétrole**) c'est-à-dire une consommation primaire totale 261,6 Mtep moins le solde exportateur en électricité (4,88 Mtep) ;
2. Sources énergétiques :
  - Sources énergétiques fossiles 47,6% ;
  - « Production nucléaire/Uranium » 44% ;
  - Energies renouvelables (hydraulique, éolien, solaire, géothermie, chaleur et biomasse) 8,5%
3. Plus de 75% de la production électrique est d'origine nucléaire

## Bilan énergétique pour l'Allemagne : simple comparaison

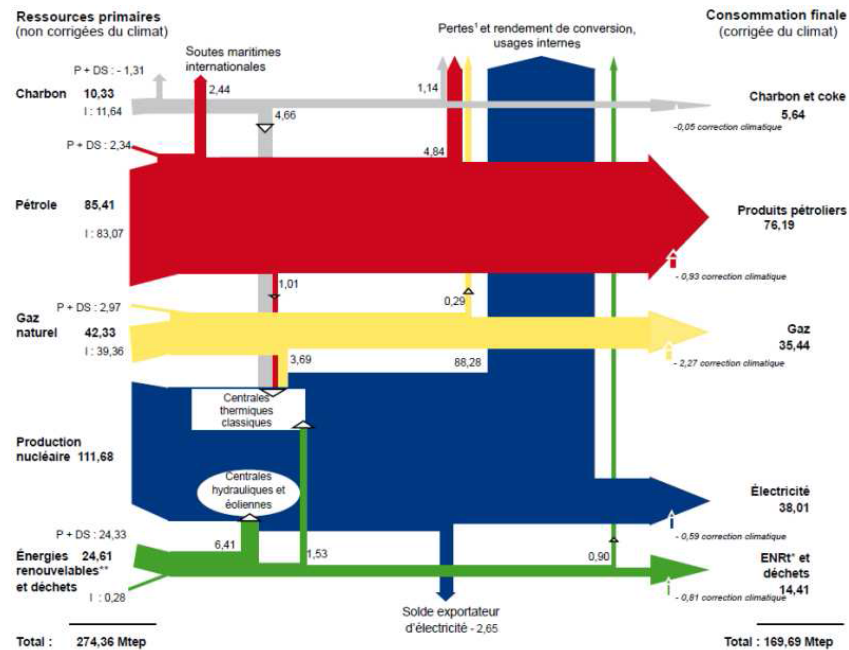
Pour ce faire, nous avons utilisé une publication faite conjointement par Global chance et l'Institut du développement durable et des relations internationales<sup>128</sup>. En 2009, la population de l'Allemagne est 1,3 fois celle de la France (82,0 millions pour l'Allemagne et 62,4 millions pour la France), le **produit intérieur brut** (PIB) était de 28337€ par habitant en France et un peu plus faible pour l'Allemagne qui était de 27769€ par habitant. La consommation énergétique finale par habitant est de 2,83 Mtep en Allemagne et de 2,61 Mtep en France.

<sup>126</sup> Chiffres de l'énergie édition 2011, service de l'observation et des statistiques du ministère de l'écologie, du développement durable, décembre 2011.

<sup>127</sup> Bilan énergétique de la France, service de l'observation et des statistiques du ministère de l'écologie, du développement durable, Juillet 2012.

<sup>128</sup> L'énergie en Allemagne et en France : une comparaison instructive, les cahiers de Global Chance N° 30, septembre 2011, ISSN 1270-377X.

Figure 1 : Bilan énergétique de la France, fin 2010



La consommation primaire en Allemagne est de 314,72 Mtep et de 252,82 Mtep pour la France. Le tableau 1 précise les différentes sources énergétiques primaires.

Tableau 1 : Consommation des sources énergétiques primaires

	Energies fossiles				Nucléaire	HESG*	Chaleur	Biomasse
	Charbon lignite	Pétrole brute	produits pétroliers	Gaz				
Allemagne	72,61 23%	103,6 32,9%	0,08 0,03%	72,76 23%	35,07 <b>11%</b>	5,39 2%	0,64 0,2%	25,62 8%
	<b>78,9%</b>							
France	11,2 4,4%	72,93 28,8%	5,27 2,1%	38,46 15,2%	106,53 <b>42%</b>	5,87 2%	0,17 0,07%	14,61 5,8%
	<b>50,5%</b>							

\* HESG : hydraulique, éolien, solaire, géothermie

Ce tableau nous donne quelques éléments remarquables de cette comparaison : une dominance des sources énergétiques fossiles (79% en Allemagne et 51% en France) et une production nucléaire trois fois supérieure en France qu'en Allemagne. En Allemagne, la principale source primaire est le pétrole brut à 33 %, suivi du charbon et du gaz naturel à 23 %, de l'uranium à 11 % et de la biomasse à 8 %. La contribution des énergies renouvelables pour la production d'électricité est de 5 %, celle de la chaleur primaire (solaire thermique et géothermie basse température) de 0,2 %. Les exportations nettes d'électricité sont de 0,3 % [6]. En France, la principale source primaire est l'uranium, à 42%, suivie de « pétrole brut + produits pétroliers » à 31%, du gaz naturel à 15%, de la biomasse et du charbon à respectivement 6% et 4%. La

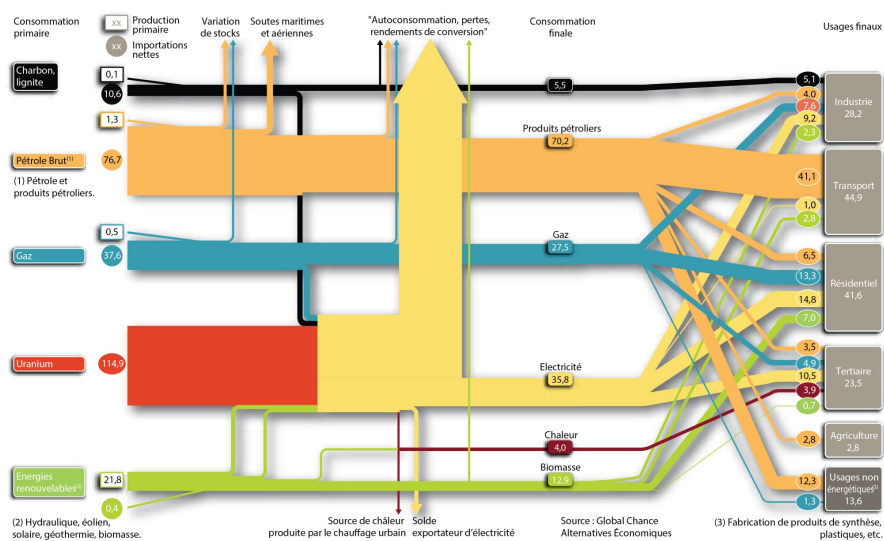
contribution des énergies renouvelables pour la production d'électricité est de 2 %, celle de la chaleur primaire (solaire thermique et géothermie) de 0,1 %. Les exportations nettes d'électricité sont de 0,9 %. La contribution des énergies renouvelables en Allemagne est de 31,65 Mtep (10 % de la consommation primaire) et de 20,65 Mtep en France (8,2 % de la consommation primaire).

## Sources énergétiques utilisées au monde

La figure 2 nous donne les caractéristiques des sources énergétiques utilisées au monde : énergie et consommation primaire, production électrique par sources énergétique et par région<sup>129</sup>. Pour la production énergétique primaire : le charbon à 27,2%, le pétrole brut + produits pétroliers à 32,8%, le gaz naturel à 20,9% (qui fait au total 80,9% pour les énergies fossiles). Au niveau mondial, il y a une nette domination de l'utilisation de l'énergie fossile primaire. Pour la production électrique mondiale, l'utilisation de l'énergie fossile est de 67,1% (40,6% pour le charbon, 5,1% pour le pétrole et 21,4% pour le gaz) suivi du nucléaire à 13,4%, de l'énergie hydraulique pour 16,2% et 3,3% pour la géothermie, solaire, éolienne, « biocarburant », déchets et production de la chaleur. La consommation énergétique mondiale dépend majoritairement de l'énergie fossile à moyenne terme. La production électrique régionale n'est absolument pas équilibrée. Plus de la moitié de la production (52%) est effectuée dans les pays de l'OCED (Organisation de coopération et de développement économiques), 18,6% en Chine, 9,6% en Asie, 8% dans les pays hors OCED (Europe et Eurasie), 3,7% pour le moyen orient et 3,1 pour l'Afrique<sup>130</sup>.

Figure 2 : Bilan énergétique de la France, fin 2011

Bilan énergétique de la France en 2011, en millions de tonnes équivalent pétrole



<sup>129</sup> International Energy Agency, Key World Energy Statics 2011, OECD/IEA, 2011.

<sup>130</sup> CONSEIL EUROPEEN DE BRUXELLES 8-9 MARS 2007

## Politique énergétique de l'Union européenne

La politique énergétique de l'Union Européenne - par esprit de solidarité entre les États membres et tout en respectant pleinement la liberté dont dispose chacun d'entre eux de choisir son propre bouquet énergétique, ainsi que sa souveraineté sur les sources d'énergie primaire - poursuit les trois objectifs qualitatifs suivants :

- accroître la sécurité de l'approvisionnement ;
- assurer la compétitivité des économies européennes et la disponibilité d'une énergie abordable ;
- promouvoir la viabilité environnementale et lutter contre le changement climatique.

Et trois objectifs quantitatifs globaux (3 x 20) :

- Réduire ses émissions de GES d'au moins 20% d'ici 2020 par rapport à 1990 ;
- Accroître l'efficacité énergétique afin d'atteindre 20% d'économies d'énergie par rapport aux projections sur la consommation énergétique primaire de l'UE pour l'année 2020 ;
- Atteindre une proportion contraignante de 20% d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale de l'UE d'ici 2020.

L'efficacité énergétique est le rapport entre la quantité d'énergie récupérée et l'énergie consommée. L'augmentation de l'efficacité énergétique permet de réduire les consommations d'énergie, à service rendu égal, ce qui entraîne la diminution des coûts écologiques, économiques et sociaux liés à la production et à la consommation d'énergie. L'efficacité énergétique peut être exprimée par le COP (coefficient de performance) quand il s'agit de production de chaleur, par l'EER (coefficient d'efficacité énergétique) pour les appareils produisant du froid<sup>131</sup>.

L'indicateur « intensité énergétique » est défini comme le ratio de la consommation d'énergie nationale totale par unité de PIB et par an. Une baisse de l'intensité énergétique signifie que le pays peut produire plus avec la même quantité d'énergie : il est donc plus productif sur le plan énergétique, on parle ainsi de gain de productivité énergétique. En conséquence, intensité et efficacité énergétiques sont en relation inverse. La baisse de l'intensité énergétique correspond à une meilleure efficacité énergétique, plus l'efficacité énergétique est élevée, plus l'intensité énergétique est basse. L'amélioration de l'efficacité énergétique permet de réduire les consommations d'énergie, à service rendu égal.

La figure 3 nous donne l'historique des différentes directives, plans d'actions pour améliorer l'efficacité énergétique dans les pays de l'UE. Les gains d'efficacité énergétique correspondent à des économies d'énergie réalisées chaque année qui

---

<sup>131</sup> Autour de notions : efficacité et intensité énergétiques, exemple de l'Union européenne, Sylviane Tabarly, ENS Lyon, <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/doc/transv/DevDur/DevdurFaire.htm>

peuvent être exprimées en « négajoules », calculées sur la base de l'intensité énergétique de 1971 pour l'UE-15 (dont les politiques d'efficacité énergétique ont été mises en place dès le premier choc pétrolier de 1973)<sup>132</sup>.

Figure 3 : Energie primaire, consommation primaire et production électrique par sources énergétique et par région

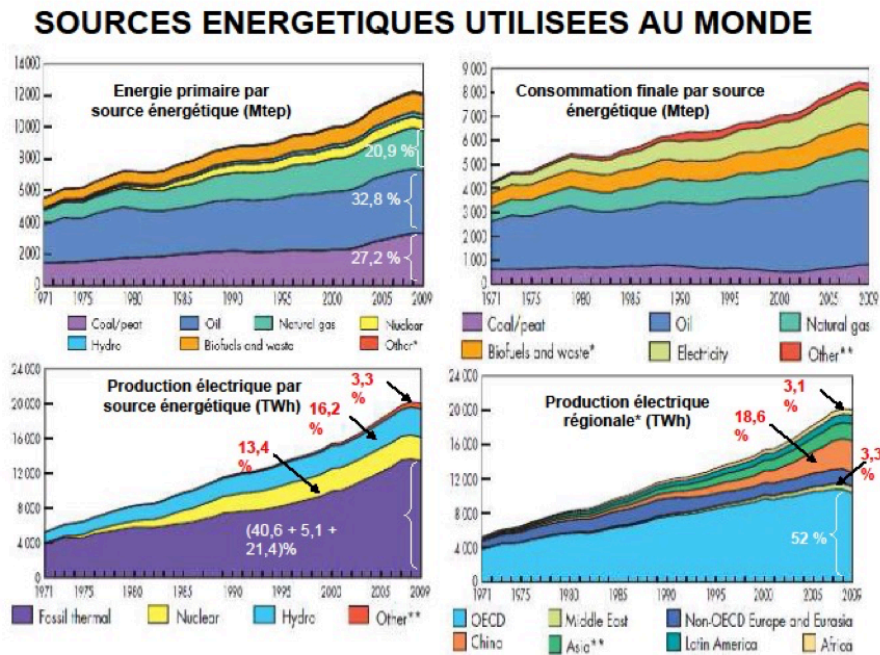
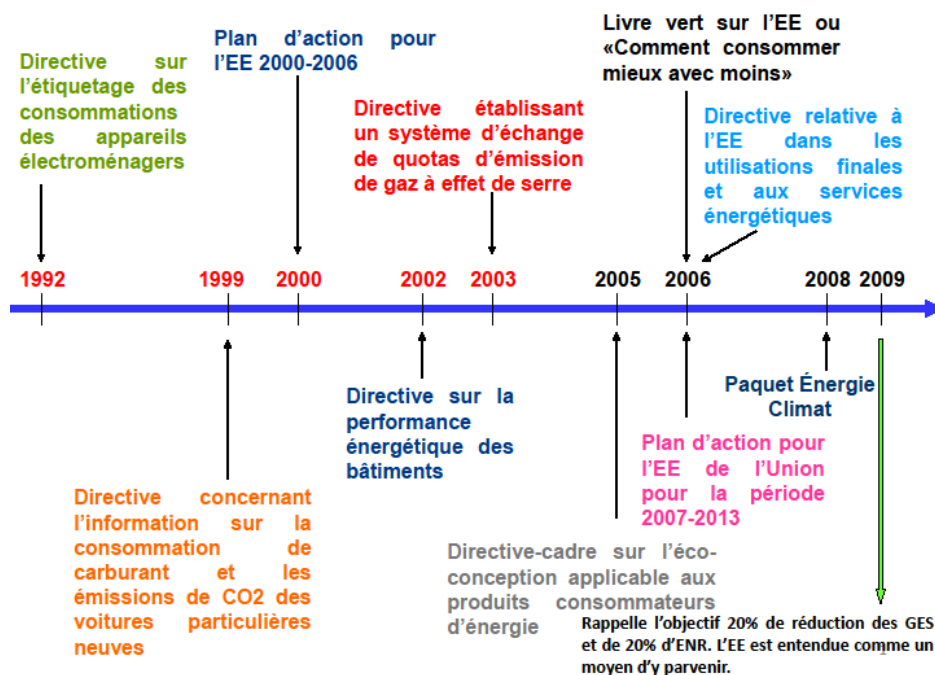


Figure 4 : Historique en faveur de l'efficacité énergétique dans les pays de l'Union Européen



<sup>132</sup> L'efficacité énergétique dans l'Union Européen, ADEME, ISBN : 978-235838-014-0, Nov. 2008

## Les conséquences au niveau national (cas de la France)

Au niveau national, ces objectifs européens amorcent une réorientation, une réflexion, un débat pour élaborer des réglementations et des plans d'action. En France, ceci s'est traduit par plusieurs débats nationaux (Grenelle de l'environnement, loi Grenelle 1, 2 et 3), et récemment par un débat sur la transition énergétique.

La question énergétique et celle de « transition énergétique » avec des objectifs spécifiques et quantifiés à court, moyen et à long terme deviennent alors un argument et un engagement politique majeur.

Si cette idée de « transition » énergétique bénéficie d'un consensus de l'ensemble de la classe politique et les parties prenantes (pouvoir publique, collectivités), les scénarios pour un futur « bouquet » énergétique divergent. Ils sont cependant tous censés permettre d'atteindre les engagements pris par la France pour le climat.

En effet, lors de débat national sur la transition énergétique, il est vite apparu que la convergence de l'ensemble du groupe de travail sur une seule trajectoire était hors d'atteinte du fait notamment de positions très contrastées sur :

- Le maintien ou non du nucléaire comme élément important du mix énergétique et le point de passage en 2025 ;
- le niveau d'ambition sur la réduction de la demande d'énergie à 2050 et le degré d'exigence corrélatif à faire peser sur le secteur énergétique en matière de facteur 4 tous GES (gaz à effet de serre).

Faute d'accord, ce sont quatre trajectoires différentes qui ont été proposées pour la transition énergétique.

Ces quatre trajectoires illustratives tendent, de par la volonté de leurs concepteurs, à une division d'au moins par 4 des émissions de GES d'origine énergétique sans précision sur les autres GES qui représentent près du tiers des émissions totales de GES<sup>133</sup>. Le tableau suivant donne quelques indications pour ces quatre trajectoires en termes de consommation finale énergétique, de part de nucléaire dans la production d'électricité, de part des ENR (énergies renouvelables) dans la production d'électricité et en termes d'investissement annuels.

Pour les émissions de CO<sub>2</sub> Les quatre trajectoires aboutissent pratiquement (compte tenu des incertitudes à un horizon aussi éloigné) à une division par 4 en 2050 des émissions de CO<sub>2</sub>. Par contre, seules les trajectoires EFF et SOB réduisent plus fortement les émissions de CO<sub>2</sub> afin de prendre en compte les GES autres que le CO<sub>2</sub> (qui pèsent environ 1/3 du total). Ils permettent de desserrer la contrainte pour les

---

<sup>133</sup> Débat National transition énergétique, groupe 2 (Quelle trajectoire pour atteindre le mix énergétique en 2050 ? Quels types de scénarios possibles à horizons 2030 et 2050, dans le respect des engagements climatiques de la France ?), Juin 2013.



autres émissions de GES, notamment dans l'agriculture (méthane, N<sub>2</sub>O.....), de façon à pouvoir atteindre l'objectif de division par 4 pour l'ensemble des GES émis par la France, conformément à l'article 2 de la loi POPE (loi de programmation fixant les orientations de la politique énergétique) du 13 juillet 2005.

*Tableau 2 : Trajectoire à l'horizon 2050*

Trajectoire illustrée à l'horizon 2050	Consommation finale énergétique (en Mtep)	Part de nucléaire dans la production d'électricité	Part des ENR dans la production d'électricité	Investissement annuels (milliards €)
Décarbonations par l'électricité ( <b>DEC</b> )	≈ 135, une baisse de 13 % par rapport à 2011	70%	≈ 22%	49 à 57
Demande moyenne et diversification ( <b>DIV</b> )	≈ 135, une baisse de 13 % par rapport à 2011	50%	≈ 43%	48 à 51
Efficacité énergétique et diversification ( <b>EFF</b> )	≈ 75, une baisse de 52 % par rapport à 2011	25%	≈ 70%	56 à 63
Sobriété énergétique et sortie du nucléaire ( <b>SOB</b> )	≈ 75, une baisse de 52 % par rapport à 2011	0%	≈ 90%	62 à 69

Le tableau ci-dessous montre de forts contrastes entre les quatre trajectoires, avec des consommations primaires en 2050 comprises entre 259 Mtep (DEC), 188 Mtep (DIV), 107 Mtep (EFF) et 84 Mtep (SOB), à comparer aux 264 Mtep de 2010. Cependant, ces niveaux sont à relativiser par la difficulté de comparer des énergies primaires entre elles (électricité, chaleur, coefficients d'équivalence)

*Tableau 3 : Les quatre trajectoires pour l'énergie primaire*

Unité en Mtep et pourcentage	2010 264 Mtep	2050			
		DEC, 259 Mtep	DIV, 188 Mtep	EFF, 107 Mtep	SOB (84 Mtep)
Charbon	12 4,3%	5 1,9%	4 2,2%	4 3,7%	1 1,3%
Pétrole	81 30,6%	9 3,4%	20 10,6%	6 5,5%	4 4,9%
Gaz	40 15,2%	24 9,3%	17 8,9%	12 11,1%	4 4,3%
Nucléaire	112 42,2%	168 64,9%	74 39,1%	26 24,3%	- -
Renouvelables hors biomasse	8 3,0%	20 7,5%	57 30,4%	27 24,8%	36 42,8%
Biomasse	12 4,6%	34 12,9%	17 8,8%	33 30,6%	39 46,6%

Le groupe de travail 2 (Quelle trajectoire pour atteindre le mix énergétique en 2025 ? Quels types de scénarios possibles à l'horizon 2030 et 2050, dans le respect des

engagements climatiques de la France ?) a proposé une liste de 12 critères afin de caractériser les divers scénarios disponibles

- résilience, flexibilité, robustesse, adaptabilité, réversibilité, faisabilité ;
- emploi et filières professionnelles ;
- indépendance énergétique et sécurité d'approvisionnement ;
- prix et coûts de l'énergie, économie et coûts des services énergétiques ;
- impact santé (qualité de l'air), risques, accidents, sûreté, sécurité ;
- respect des engagements acquis ;
- investissements et chiffrage des scénarios ;
- impact sur le réchauffement climatique ;
- gestion et économie des ressources, biodiversité et impact environnemental global.
- cohérence et justice sociales ;
- marge et autonomie territoriale et citoyenne ;
- faisabilité.

Ces critères sont exprimés en termes « citoyens », avec le flou que cela peut impliquer.

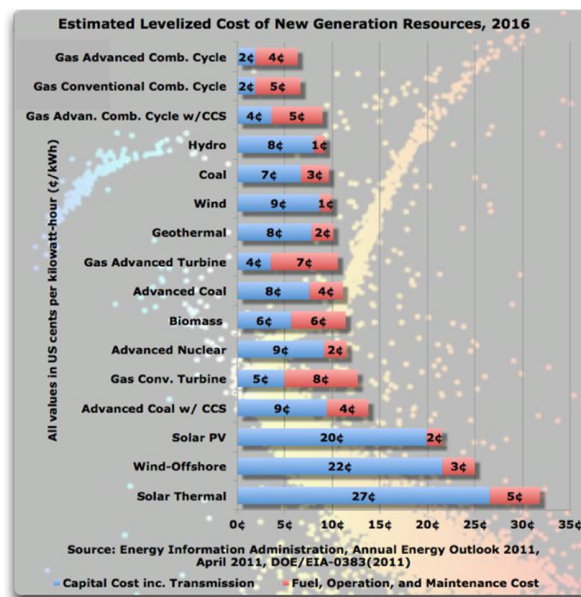
## Transition énergétique : quelques indicateurs

Depuis plusieurs années, aux objectifs généraux des disciplines se sont rajoutés des objectifs éducatifs transversaux, visant à donner au futur citoyen, « *les moyens de faire des choix en menant des raisonnements qui lui permettront de prendre des décisions, d'agir de manière lucide et responsable, tant dans sa vie personnelle que dans la sphère publique* » [B.O. n° 41, novembre 2011]. Des questionnements et des interrogations sont inévitables lors des séances d'enseignement/formation en relation avec des sources énergétiques. C'est particulièrement le cas lors des séances d'enseignement /formation en « énergies renouvelables et alternatives », et en ce qui concerne leurs : disponibilités, efficacités, économies et retour sur investissement...

L'objectif de cette partie est de mettre à disposition un grand nombre d'indicateurs/critères pour permettre à chacun d'évaluer les différents impacts des sources d'énergie, de comprendre les différents scénarios proposés, d'aider à faire sa propre idée et son choix « citoyen » pour un tel ou tel scénario et d'en discuter / débattre et prévoir des solutions alternatives pour une transition énergétique. Les quelques indicateurs/critères pour un nouveau bouquet énergétique seront exposés et sont sujets de controverses dans la littérature scientifique visant à apporter quelques réponses à ces interrogations, pour contribuer à un débat, pour éclairer un choix énergétique « citoyen » vers des pistes et des priorités pour une transition énergétique. Ici, nous allons lister quelques indicateurs et caractéristiques des sources énergétiques « classiques » et d'autres qui paraissent prometteurs malgré une utilisation limitée à l'heure actuelle. La production électrique des différentes ressources sera le facteur principal pour une telle comparaison.

## Les coûts de production dits complets

Ils correspondent à « la valeur présente de la somme des coûts actualisés divisés par la production totale ajustée à sa valeur temps économique » (AIE). Il intègre donc les dépenses opérationnelles et le coût d'investissement. Notez que l'utilisation des « coûts complets », n'est pas le prix de vente réel, car cela peut être affecté par divers facteurs tels que les subventions, les taxes... Comme tendance général, les sources d'énergie conventionnelles (gaz naturel, charbon et nucléaire) et hydroélectrique, énergie éolienne et géothermie pour les énergies renouvelables semblent bénéficier des coûts le moins nivelés pour la production d'électricité.



## Facteur de capacité

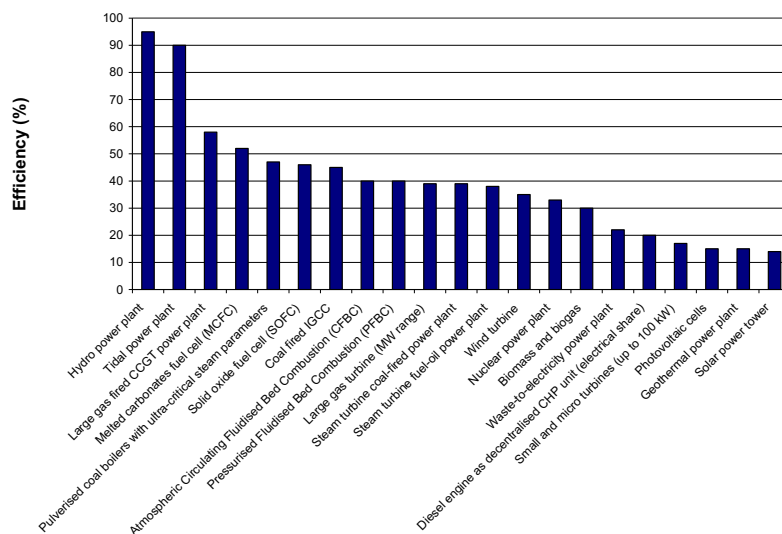
Le facteur de capacité net d'une centrale est le rapport entre la production réelle d'une centrale sur une période de temps et de son potentiel de production si elle avait fonctionné à pleine capacité nominale tout le temps. Le tableau donne une estimation du facteur de capacité pour différents types d'installation aux Etats Unis entrant en service en 2017.

Type d'installation	Facteur de capacité %
Geothermic	92
Nucléaire avancé	90
Gaz Naturel : Cycle combiné Conventionnel et avancée, Cycle combiné avancée avec CSC	87
Combustion charbon Conventionnel et avancée, Combustion charbon avancée avec CSC	85
Biomasses	83
Hydraulique	53
Energie du vent	34

Gaz naturel : Turbine de combustion avancée	30
Gaz naturel : Turbine de combustion Conventiennel	30
Energie du vent – Offshore (maritime)	27
Solaire photovoltaïque	25
Solaire thermique	20

## Efficacité de la conversion énergétique

C'est le rapport entre l'énergie utile et l'énergie primaire d'une conversion énergétique. L'énergie utile peut être de l'énergie électrique, de l'énergie mécanique ou de la chaleur. La figure ci-dessous résume l'efficacité de la conversion énergétique pour différentes technologies.



## Durée de construction, durée de vie et temps du retour énergétique

Le tableau ci-contre donne la durée de construction, la durée de vie et le temps du retour énergétique par type d'installation en années.

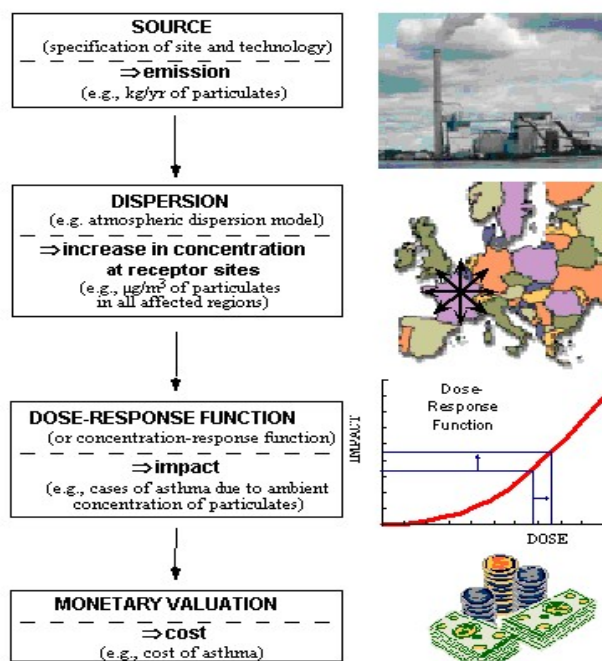
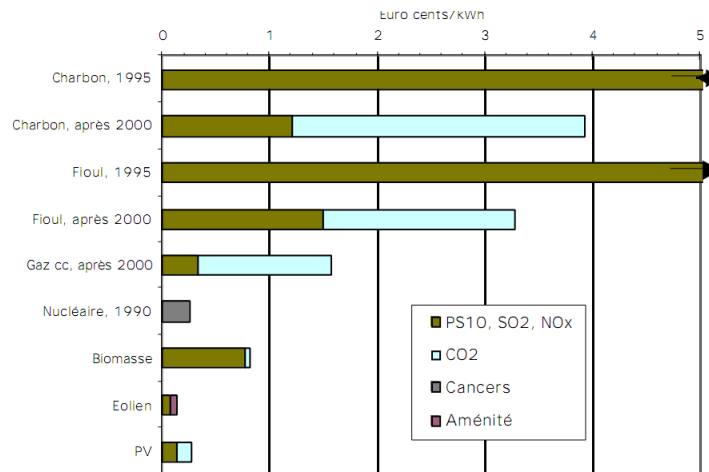
Type d'installation	Construction	Durée de vie	Retour énergétique
Turbine à Gaz	1 - 3	25	1.2-3.9
Turbine à Gaz avec CSC*	4	25	
Combustion Interne (moteur Diesel)	1	25	
Turbine cycle combiné Oil-fired	3	25	
Combustion charbon pulvérisé	3	40	
Combustion charbon pulvérisé avec CSC*	4	40	
Combustion en lit fluidisé circulant	3	40	
Gazéification intégrée à cycle combiné	3	40	
IGCC avec captage et séquestration CO <sub>2</sub>	4	40	
Fission nucléaire	6	40	0,8-3
Biomasse (combustion cycle vapeur)	2	30	
Installation biogaz	1	25	
Éolienne terrestre	1	20	0.1-1.5

Éolienne maritime	2	20	
Hydraulique	3-4	50	0.1-3.5
Photovoltaïque	0	25	0.2-8
Concentrateurs Solaires	2	40	0.7-7.5

\* CSC : Captage et séquestration de CO<sub>2</sub>

## Les coûts externes de production électrique

Les coûts externes de la production d'énergie sont les coûts pour la santé et l'environnement des dommages entraînés par l'utilisation de différentes sources d'énergie, par opposition aux coûts internes qui sont les coûts financiers résultants de la construction et de l'usage des moyens de production. Une synthèse du projet européen externe a été publiée concernant les coûts externes de la production électrique. Les figures ci-dessous donnent une évaluation monétaire des différentes sources énergétiques en fonction de leurs impacts sur la santé.

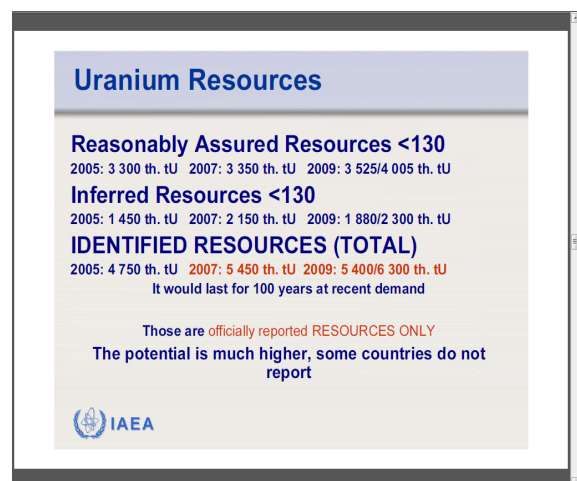
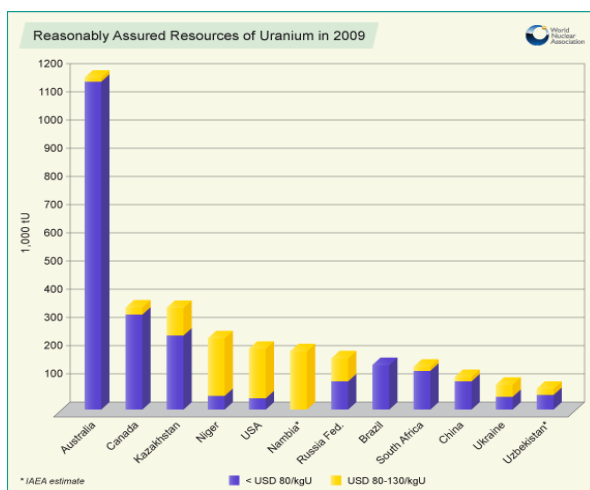


## Disponibilité, limitation et pénurie

Le tableau ci-dessous donne un résumé des statistiques des études concernant les années d'une production maximale atteinte pour les énergies fossiles et la **déviaton standard** pour chaque type de source fossile

Type d'énergie fossile	N <sup>o</sup> . d'estimations	Estimation de l'année d'une production maximum	
		Année moyenne	Déviaton standard. (an)
Pétrole brut conventionnel	28	2016	12.8
Pétrole conventionnel et non conventionnel	17	2022	18
Gaz	9	2022	9.4
Charbon	7	2049	25.9
Ensemble énergies fossiles	7	2028	8.5

Pour les ressources en uranium, la dernière édition de l'AIEA (Agence Internationale de l'Energie Atomique) portant sur l'étude dénommée "Uranium 2009 : ressources, production et demande", connue également sous le nom "Red Book", indique que sur la base du taux de consommation de l'année 2008, "les ressources prouvées à l'heure actuelle seront suffisantes pour assurer la fourniture d'uranium durant plus de 100 ans". Selon les auteurs du rapport 2009, "l'emploi de réacteurs modernes et d'une technologie avancée pour les cycles d'utilisation du carburant peuvent avoir un effet positif sur les quantités disponibles d'uranium à long terme et cela pourrait se traduire alors en milliers d'années". Les deux figures ci-dessous sont extraites de ce rapport.



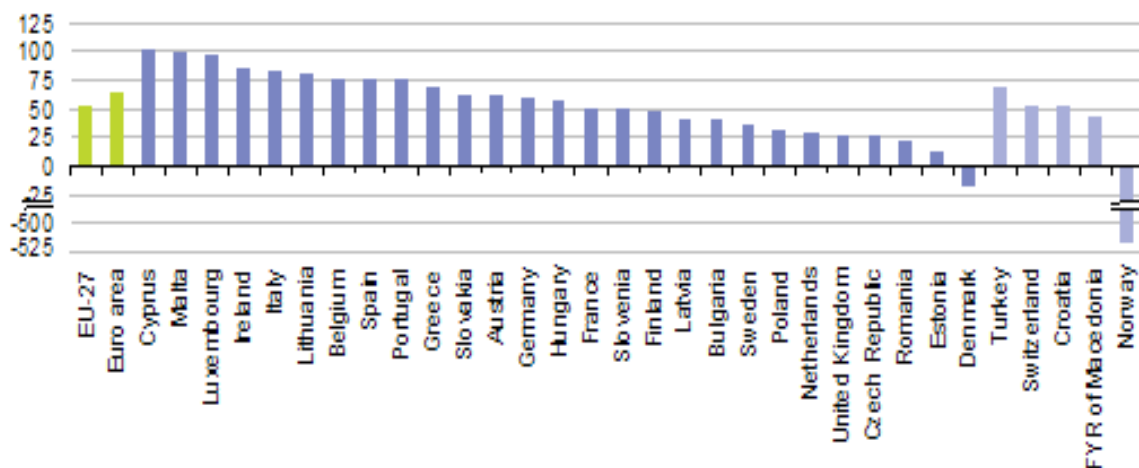
## Dépendance énergétique et sécurité d'approvisionnement

La dépendance énergétique est une notion complexe qui doit prendre en compte des données physiques sur la production ou la provenance des produits énergétiques consommés, des données économiques sur les coûts des énergies et des appréciations

sur les risques physiques, économiques et géopolitiques de l’approvisionnement énergétique. Cette question est interprétée de façon très diverse selon les porteurs de scénarios. L’avis du GT2 devant la diversité des réponses des porteurs de scénarios, ajoutée à la réponse des experts, montre clairement que ce critère doit être mieux pris en compte, analysé et documenté, notamment pour la sécurité des approvisionnements. La notion d’indépendance énergétique est en principe facile à calculer dans le bilan énergétique de la France, mais celui-ci demande à être revu pour se rapprocher des standards internationaux et le groupe a fait une recommandation en ce sens (no 25).

En fait, la question de **l’indépendance énergétique fait débat**. La définition officielle nous indique que le taux d’une indépendance énergétique est le rapport entre la production nationale d’énergies primaires (charbon, pétrole, gaz naturel, nucléaire, hydraulique, énergies renouvelables) et les disponibilités totales en énergies primaires pour une année donnée. Ce taux peut se calculer pour chacun des grands types d’énergies ou globalement toutes énergies confondues. Un taux supérieur à 100 % (cas de l’électricité) traduit un excédent de la production nationale par rapport à la demande intérieure et donc un solde exportateur. De ce fait, le taux d’indépendance énergétique de la France est d’environ 50%. La figure ci-dessous nous indique le taux d’indépendance énergétique pour l’UE et la zone euro. Le Norvège et le Danemark sont les deux pays de la zone euros qui sont indépendants énergétiquement.

Figure 5 : taux d’indépendance énergétique



Source: Eurostat (online data codes: tsdoc310 and nrg\_100a)

D’autres estiment que cette définition donne une image inexacte du taux d’indépendance française, telle qu’il est officiellement défini, puisque l’uranium comptabilisé est totalement importé depuis le début des années 90. Cette position critique porte sur le fait de considérer la production d’électricité d’origine nucléaire comme « nationale » alors que l’uranium naturel, source de cette production d’énergie, est totalement importé. Dans la mesure où le taux d’indépendance est bien

défini sur la base de quantités physiques des sources primaires, il serait normal de considérer les quantités d'énergie primaire correspondantes comme importées. Dans ce cas, le coefficient d'indépendance de la France serait de 8,9 % et celui de L'Allemagne, par le même calcul, de 29,8 %. D'autres méthodes - en calculant le taux de couverture des consommations en énergie finale - donnent les valeurs de 36 % pour l'Allemagne et de 28 % pour la France.

## Déclassement, démantèlement, décontamination et gestion des déchets radioactifs

Ce critère concerne particulièrement les installations nucléaires. C'est un processus complexe, long, avec des échéances parfois lointaines qui nécessitent la mise en œuvre par les exploitants de véritables stratégies techniques et financières accompagnées d'une expérience très limitée.

Il existe trois approches de déclassement : *le démantèlement immédiat, le démantèlement différé et le confinement*. Le coût pour le déclassement et le démantèlement des installations nucléaires semble être le problème majeur pour la production d'électricité nucléaire et les chiffres dépendent fortement de celui qui les présente.

Les coûts du démantèlement des réacteurs nucléaires varient considérablement (type de réacteur, sa taille, son emplacement, proximité et la disponibilité des installations d'élimination des déchets...).

En France, d'après les derniers devis disponibles, le coût de démantèlement du réacteur de technologie REP (réacteur à eau pressurisée) de Chooz A représenterait 68 % du coût moyen de celui des réacteurs « graphite-gaz » et 59 % de celui de Brennilis (eau lourde). Le rapport de synthèse de l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE, intitulé « Vers une harmonisation des estimations des coûts de déclassement » a réalisé des comparaisons internationales sur les coûts de démantèlement -avec des réserves (exigences de la réglementation nationale, stratégie de démantèlement,). En s'appuyant sur ce rapport, la cour des comptes a réalisé une extrapolation du coût de démantèlement du parc actuel français à partir de 11 études pour six pays de l'OCDE.

*Tableau 4 : Extrapolation du coût de démantèlement du parc actuel : 11 comparaisons internationales - en Md€ (2010)*

Méthodes utilisées par	EDF	Suède	Belgique	Japon	USA 3 méthodes	GB	Allemagne 4 méthodes
Extrapolation pour 58 réacteurs	18,1	20	24,4	38,9	27,3 ; 33,4 34,2	46	25,8 ; 34,6 44 ; 62



Comme le démantèlement, la production et le stockage des déchets radioactifs sont étroitement liés à la politique nucléaire future, c'est une vue d'ensemble et non des données objectives stables.

Ainsi, les déchets provenant du retraitement des combustibles irradiés nécessitent un stockage profond ou en surface. Le prix de stockage varie selon le degré d'activité, les délais de stockage et de surveillance (270 €/tonne, 2 529 € par m<sup>3</sup>).

Le débat portant sur les déchets radioactifs nécessite une bonne information préalable du grand public, car, indépendamment de toute prise de position politique, il est nécessaire d'adopter des solutions pour le stockage des déchets radioactifs de haute activité et à vie longue (HAVL). Or, toutes les enquêtes montrent que les Français ne s'estiment pas suffisamment informés. Les déchets nucléaires susciteraient en eux-mêmes une inquiétude plus forte que l'existence des centrales nucléaires et cela, de façon plus importante que dans les autres pays européens.

## Scénarios énergétiques et emploi

La comptabilité nationale pour les emplois dans les filières énergétiques en France indique que 127 165 personnes travaillaient en 2008 dans la production, le transport et la distribution d'électricité, 20 705 dans la production, le transport et la distribution de gaz, et 17 611 dans le raffinage. Une étude récente de PWC fait état de 125 000 emplois directs dans la filière du nucléaire civil en France.

Une politique pour un scénario « transition énergétique » doit prendre en compte trois niveaux d'impacts : les emplois directs, tenant compte des créations ou destruction d'emplois dans certaines filières mais aussi en termes de maintien d'emploi dans d'autres ; les emplois indirects, généralement ceux dans les branches sous-traitantes, et les emplois induits.

Emploi, formation et transitions professionnelles représentent la dimension humaine et sociétale du changement vers la transition énergétique. Il est nécessaire de veiller à ce que ce volet social soit traité simultanément et en interaction avec les aspects environnementaux et économiques.

Le rapport de groupe de travail 6 (La transition énergétique face à des scénarios probables, quelle conduite du changement pour les métiers, les emplois, les compétences et les qualifications, les dispositifs de formation ?) suite à des faits multiples (diagnostics à dire d'experts, Grenelle de l'environnement, études...) nous donne des indications intéressantes pour les métiers/emplois sur lesquelles s'appuyer, même si elles nécessitent d'être actualisées. Sont concernées :

- Dans les filières de la transition énergétique
  - les métiers/emplois de l'énergie en croissance modérée (production d'électricité, transport de gaz, chauffage urbain, stockage de l'énergie...)

- et les métiers/emplois en développement (ENR, EMR (énergies marines renouvelables), Systèmes éco-électriques, bâtiment bas carbone, transport durable...)

- Dans les filières impactées par la transition énergétique

- les métiers/emplois menacés ou en mutation (raffinage, sidérurgie, nucléaire, automobile, chimie, cimenterie, papier-carton...)

En Allemagne, un consensus existe pour un « seul » scénario pour une transition énergétique nationale (la sortie du nucléaire à la suite de l'accident de Fukushima). Dans le même esprit de comparaison Allemagne-France, il nous a paru intéressant de regarder quelques chiffres disponibles sur l'emploi d'une des filières de la transition énergétique (ENR).

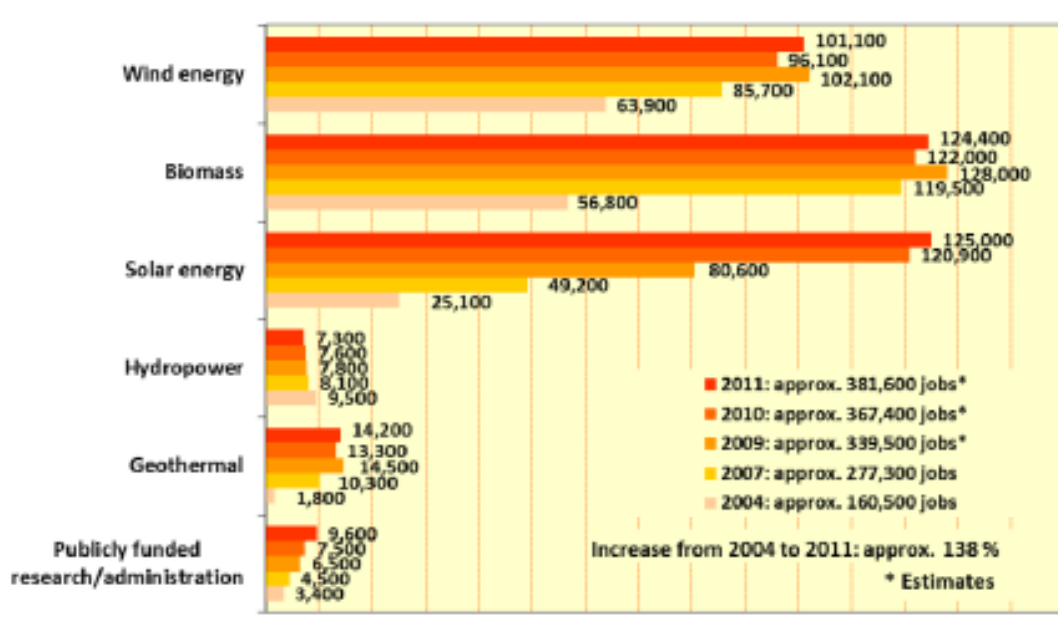
Des dissensions importantes entre les chiffres des filières nous enseignent que l'emploi est souvent mal connu, pour la simple raison que les périmètres définis diffèrent d'une étude à une autre.

Euroserv'ER fournit des données sur l'ensemble des pays européens, à partir de sources nationales, et inclut les emplois directs et indirects, nous avons opté pour ce choix. Le tableau ci-dessous donne un récapitulatif des chiffres d'emplois et la puissance/production énergétique par filière pour les deux pays.

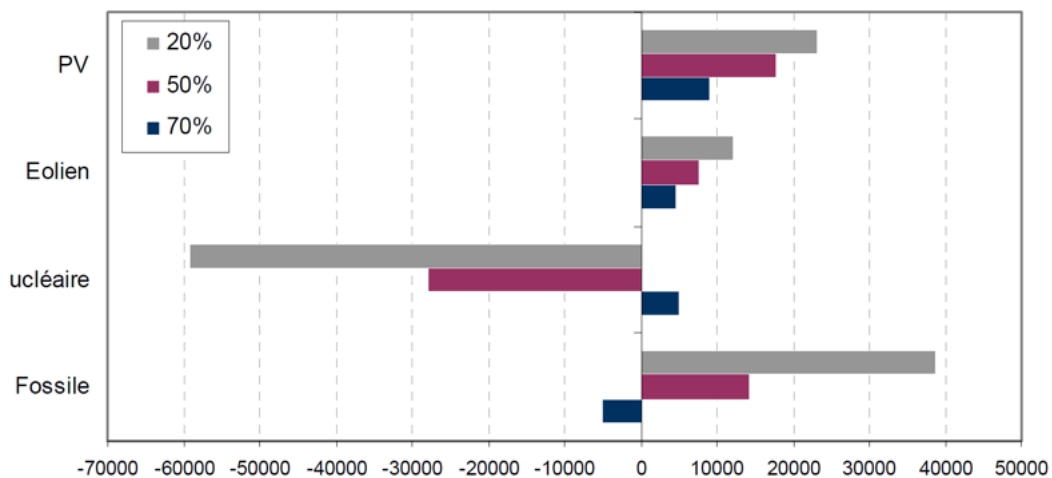
*Tableau 5 : Récapitulatif des chiffres d'emplois et la puissance/production énergétique Allemagne / France*

	Puissance/production fin <sub>2010</sub>		EMPLOIS directe et indirect <sub>2010</sub>	
	Allemagne	France	Allemagne	France
Eolien	27 215 MW	5 660 MW	96 100	20 600
Photovoltaïque	17 370 MW <sub>c</sub>	1 054 MW <sub>c</sub>	107 800	58 100
Solaire thermique	9 831 MW <sub>th</sub>	1 470 MW <sub>th</sub>	13 100	8 070
Biomasse solide	12,230 Mtep	10,481 Mtep	60 900	60 000
<b>Biocarburants (P+C)</b>	3 082 475 ktep	2 628 739 ktep	23 100	15 200
Petite hydroélectricité	1 740 MW	2 010 MW	2 400	2 500
Géothermie	6,6 MW <sub>e</sub> ; 255,4 MW <sub>th</sub>	17,2 MW <sub>e</sub> ; 345 MW <sub>th</sub>	1 300	1 800
Pompes à chaleur géo	335 ktep	218 ktep	12 000	3 800
Biogaz	6 670 ktep	413 ktep	38 000	965
Déchets urbains R	2 271 ktep	1 214 ktep	6 660 (direct)	3 700 (direct)
Total			361 360	174 735

La figure ci-contre donne pour l'Allemagne la progression de l'emploi pour les périodes 2004-2011 dans les filières d'énergies renouvelables (énergie éolienne, biomasse, énergie solaire, énergie hydraulique, énergie géothermique et dans le domaine de la recherche et de l'administration.



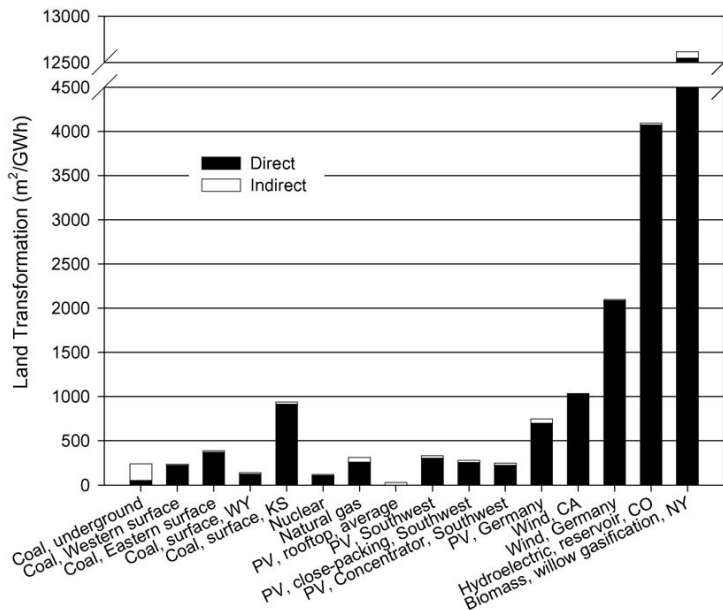
En France, le graphique ci-dessous donne une variation de l'emploi direct en 2030 (cumulé) dans les filières électriques (solaire photovoltaïque, énergie éolienne, énergie nucléaire et énergie fossile) par rapport à la situation de 2010 pour trois hypothèses : 70 %, 50 % et 20 % de nucléaire.



Source : Calcul CAS

## Utilisation du sol (empreintes territoriales)

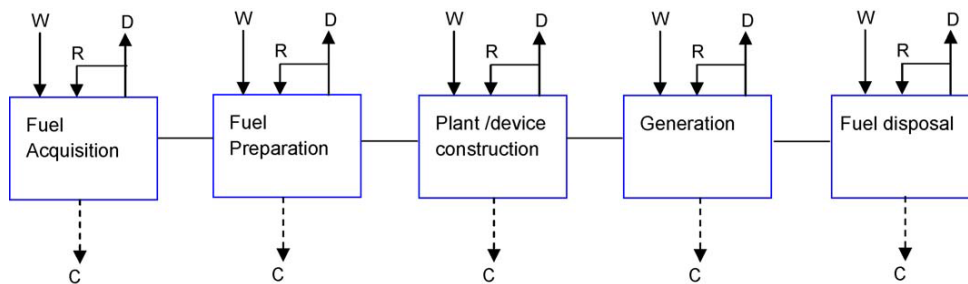
Une étude de l'utilisation des terres sur un cycle de vie pour les énergies renouvelables et conventionnelles est revue et analysée. Cette évaluation prend en compte la transformation des terres et le temps d'occupation pour les deux usages direct et indirect, mais pas la contamination et les perturbations des écosystèmes adjacents. La figure ci-dessous donne un résumé de cycle de vie de la transformation des terres pour les différentes sources d'énergies sur la base d'une période de 30 ans.



## Utilisation de l'eau (empreinte de l'eau)

L'eau est une source indispensable à la production d'énergie ; elle peut être employée comme matière première ou participer à l'exploitation de diverses ressources énergétiques. Quelle que soit la filière énergétique, pour mesurer l'impact de la production d'énergie sur les ressources en eau, on considère deux aspects : (i) La quantité d'eau utilisée dans un processus de production permet de déterminer son « empreinte eau ». Ce calcul prend en compte toutes les étapes du processus : de la fabrication des équipements à la transformation des matières premières ; (ii) La qualité de l'eau rejetée dans la nature (En Europe, bien encadrée par une réglementation stricte).

Figure 6 : Cycle de l'eau dans la production énergétique



Acquisition carburant Préparation construction dispositif production Élimination carburant  
 W = Prélèvement ; C = Consommation ; D = Rejet ; R = recyclée

Dans une étude, une évaluation des besoins en eau (prélèvement, consommation...) pour des centrales électriques et renouvelables utilisant une analyse complète du cycle de vie de l'eau concernant son utilisation dans la production d'électricité, a été effectuée. Les deux figures ci-dessous donnent une comparaison des prélèvements

d'eau à travers les cycles du combustible. Des données américaines sont utilisées, à l'exception d'un cas danois pour le cycle de vent. Pour PV, des données américaines sont utilisés ('insolation moyenne 1800 kWh/m<sup>2</sup>.an, taux de performance 0,8). Un facteur de capacité de 0,29 est utilisé pour le cycle du vent (installation offshore).

Figure 7 : Comparaison de prélèvement d'eau par combustible

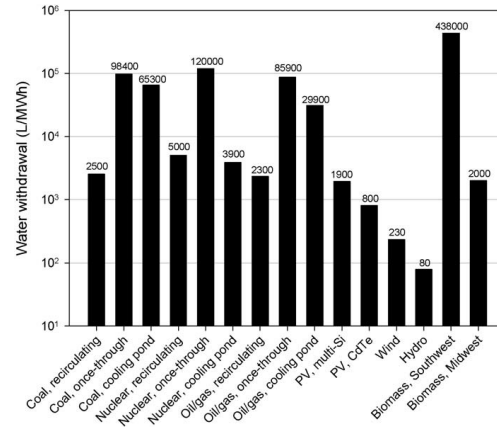
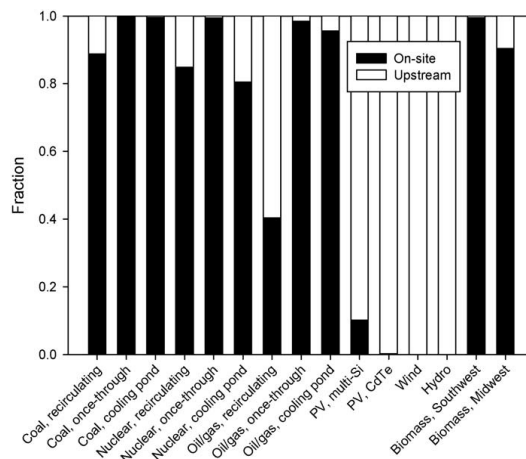
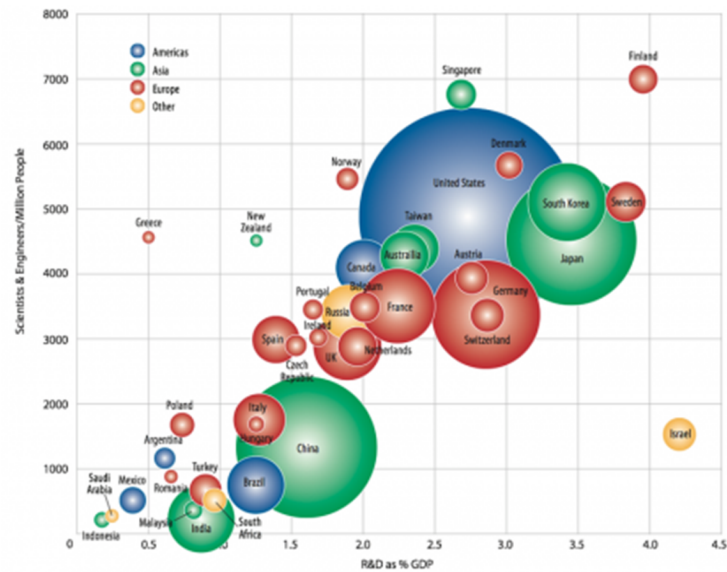


Figure 8 : Prélèvement (en fraction) sur place, en amont



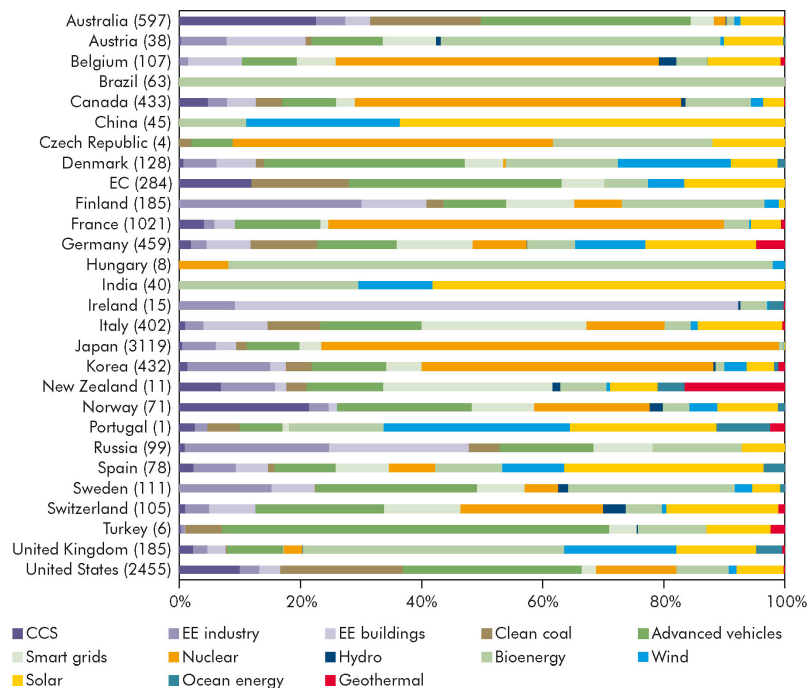
## Soutien à la recherche et au développement

Les dépenses pour la recherche et le développement sont des dépenses courantes et d'investissement (public et privé) sur le travail créatif entrepris systématiquement pour accroître les connaissances, y compris la connaissance de l'humanité, la culture et la société, et l'utilisation des connaissances pour de nouvelles applications. Recherche et Développement (R&D) couvrent la recherche fondamentale, la recherche appliquée et le développement expérimental. La figure suivante nous donne une indication concernant les dépenses annuelles relatives pour R&D par pays en pourcentage par rapport au produit intérieur brut.



La taille de cercle reflète la quantité relative des dépenses annuelles en R&D par pays.

La figure ci-dessous donne une indication sur les investissements consacrés pour la R&D. Les pays consacrent des montants très différents pour un large éventail de technologies en fonction des circonstances nationales.



Les montants entre parenthèses à gauche sont les dépenses totales en millions de dollars 2008.

## Politique énergétique et gouvernance

La politique énergétique est la manière dont une entité donnée (souvent gouvernementaux) a décidé de traiter les questions de développement de l'énergie en matière de production, de distribution et de consommation. Les attributs de la

politique énergétique peuvent comprendre des lois et des législations, des traités internationaux, des incitations à l'investissement, des lignes directrices pour une efficacité énergétique, de la fiscalité et d'autres techniques de politique publique. La science politique anglo-saxonne a inventé le terme de "governance" de l'anglais, en français gouvernance, pour décrire les rapports entre les gouvernants et les citoyens (souvent considérés à travers le prisme de la "société civile") au sein d'un État ou d'une collectivité. Le terme recouvre ainsi « l'ensemble des relations de pouvoir au sein d'une société ainsi que les modes d'arbitrages entre les différents détenteurs ».

D'une manière concrète, nos expériences professionnelles nous montrent comment des décisions, des actions, des projets au sein d'un établissement, d'une collectivité peuvent être facilités, favorisés et menés à travers une « bonne » gouvernance.

Comme exemple et suite à l'accident nucléaire de Fukushima le Japon annonce :

- Mai 2011 : une réorientation de sa politique vers une plus grande sécurité des centrales et un développement accru des énergies renouvelables pour diminuer la part du nucléaire ;
- Août 2011 : une loi est votée pour mettre le solaire et l'éolien au cœur des politiques énergétiques du pays.
- Fin décembre 2012 : le parti libéral-démocrate (PLD) arrivé au pouvoir grâce à la victoire écrasante affiche une position pro-nucléaire ;

En France, une politique d'incitation pour les énergies renouvelables (fiscal, prix d'achat, subventions) est appliquée avec pour objectif la création d'une filière industrielle et d'emplois directe/indirecte pour atteindre les objectifs des directives européens en matière d'énergies renouvelables... Ces mesures sont revues régulièrement selon ce que les industriels qualifient d'une politique « stop and go ». Cependant, cette approche ne favorise pas une visibilité sur les objectifs souhaités. Une gouvernance énergétique se définissant à l'échelle des bassins de vie, des quartiers, des collectifs d'habitation... réduit les incertitudes tant sur l'offre que sur la demande. Elle représente la garantie que la société civile mette en œuvre les « bonnes pratiques » en intelligence avec les systèmes énergétiques choisis localement, et qu'elle contribue de ce fait à former une demande naturellement « sobre ».

Le Débat sur la transition énergétique représente alors une véritable opportunité pour changer de culture énergétique et donner du sens à la notion de réduction des consommations d'énergie.

### **Systemes énergétiques centralisés et décentralisés**

Nous avons vu que la production électrique régionale n'est vraiment pas équilibrée. Plus de la moitié de la production (52%) est produite dans les pays de l'OCED, 18,6% en Chine, 9,6% en Asie, 8% dans les pays hors OCED (Europe et Eurasie), 3,7% pour le moyen orient et 3,1 pour l'Afrique.

On estime actuellement qu'environ 1,6 milliard de personnes dans le monde n'ont pas accès à l'électricité et certains de ces 85% vivent dans les zones rurales.

La Production décentralisée d'électricité aussi appelée production distribuée, est la production d'énergie électrique à l'aide d'installations de petite capacité raccordées au réseau électrique à des niveaux de tension peu élevée : basse ou moyenne tension.

La plupart des pays développés comptent sur un système de production et de distribution centralisées d'électricité. L'électricité produite à grande échelle puis distribuée aux utilisateurs finaux à travers un réseau de transmission.

Ces réseaux peuvent être coûteux et dans la plupart des cas, prendre de nombreuses années, voire des décennies pour un plein développement.

En France où les choix de production centralisés sont fortement privilégiés, l'historique de l'utilisation de production énergétique décentralisée est lié à l'utilisation des énergies renouvelables (photovoltaïque, éolienne, solaire thermique) pour des sites isolés. Ceci concerne particulièrement les D.O.M et quelques sites en France métropolitain où la connexion au réseau n'est pas rentable économiquement.

C'est grâce aux mesures prises en 2005 (tarif d'achat, crédit d'impôt, garantie résultat solaire, labellisation des équipements et des métiers) que l'utilisation des énergies renouvelables connecté au réseau a connu une progression importante au détriment des connexions décentralisées.

Dans une étude, le choix entre la production d'électricité centralisée et décentralisée est examiné pour 150 pays en fonction de la répartition de la population, la consommation d'électricité, le coût de transmission, et la différence de coût entre la production d'électricité décentralisée et centralisée...

Pour la plupart de la population mondiale, l'électricité centralisée est l'option la moins coûteuse. Pour un certain nombre de pays, notamment en Afrique - pour des populations et des régions importantes - l'électricité décentralisée produite localement et un micro réseau de distribution (cellules solaires photovoltaïques, des éoliennes, central à biomasse...) peuvent être plus rentables.

## **Acceptation sociale**

Toute source ou projet énergétique a connue (et connaîtra) lors de son élaboration des moments d'une opposition ou un refus social. L'énergie nucléaire et ses déchets radioactives dans le passé, l'utilisation des énergies renouvelables et particulièrement l'énergie éolienne (bruit, impacte visuelle) il y a quelques années et des projets énergétiques d'actualités (utilisation du gaz de Schiste) ou des projets innovatrices (captage et stockage de CO<sub>2</sub>). Pour tout projet énergétique, une acceptation sociale est un facteur déterminant (parfois aussi important que la technologie elle-même). C'est précisément le cas de l'énergie éolienne qui a servi comme un « laboratoire d'apprentissage » quant à l'acceptabilité sociale des énergies.



Une première définition de « l'acceptation sociale » des énergies renouvelables, a été proposée par Wüstenhagen selon un « *triangle de l'acceptation sociale* », représentant la combinaison de trois dimensions :

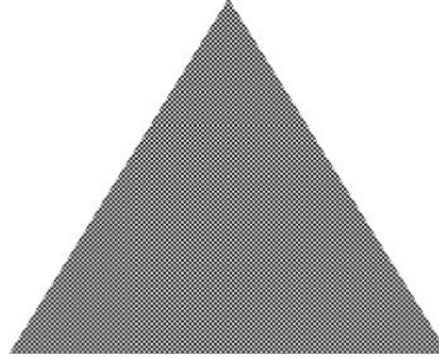
Une « acceptation socio-politique », au sens le plus large et général, qui a trait à l'acceptation des technologies et politique de la part des grands acteurs sociétaux (opinion publique, parties prenantes « clés » et hommes politiques);

Une « acceptation communautaire », qui se réfère à « l'acceptation spécifique des décisions de localisation et des projets d'énergie renouvelable par les parties prenantes locales, en particulier les résidents et les autorités locales » et s'organise sur les questions de justice procédurale et distributionnelle, ainsi que de confiance envers les acteurs extérieurs ;

Une « acceptation du marché » (ou le « processus de l'adoption d'une innovation par le marché ») intègre à la fois les consommateurs, les investisseurs et les firmes elles-mêmes.

Socio-political acceptance

- Of technologies and policies
- By the public
- By key stakeholders
- By policy makers



Community acceptance

- Procedural justice
- Distributional justice
- Trust

Market acceptance

- Consumers
- Investors
- Intra-firm

Lorsqu'on sort des approches technico-économiques, on voit bien que les comportements énergétiques s'intègrent dans des systèmes sociotechniques complexes qui combinent des acteurs humains (citoyens-usagers-consommateurs), en interaction avec d'autres acteurs humains (gestionnaires, fournisseurs d'énergie, services sociaux...), mais aussi avec des acteurs non humains (logement, équipements, appareils...), auxquels s'ajoutent étiquettes, réglementations, informations, consignes, modes d'emploi... mais aussi des dynamiques sociales (jeux de réseaux, processus d'apprentissage, effets d'influence...), des contextes ou des environnements (revenus, état du bâti, climat, marché, politiques publiques...) et enfin, des configurations (familiales, organisationnelles, institutionnelles...).

Elargir le débat à tous les échelons de la société et des territoires offre l'opportunité de redonner aux citoyens (consommateurs, usagers, clients... mais aussi électeurs) leurs compétences quant aux grandes options qui vont être prises et qui définiront le paysage énergétique, mais aussi l'environnement et les conditions de vie de demain. Il ne s'agit alors plus de raisonner en termes d'acceptabilité sociale ou de mise en conformité des comportements avec les objectifs de sobriété si souvent brandis comme la condition qui validerait les choix énergétiques. Il importe de convier les usagers à participer aux décisions et aux grands choix qui dessinent à la fois leur paysage énergétique, mais aussi leur société de demain. Réduire le fossé entre élus et citoyens représente alors la seule garantie pour que le débat ne soit pas confisqué.

## Indicateurs énergétiques du développement durable

Dans ce sens, il est fort intéressant de rappeler brièvement les travaux sur un ensemble d'indicateurs énergétiques du développement durable (IEDD) pour examen et utilisation, en particulier au niveau national, et de servir de point de départ à l'élaboration d'un ensemble plus complet et accepté universellement.

Aucun ensemble d'indicateurs énergétiques ne peut être entièrement finalisé et définitif. Pour être utiles, ces indicateurs doivent évoluer au cours du temps en fonction des conditions, des priorités et des capacités propres à chaque pays. Pour autant, ils donnent une image claire de l'ensemble du système, y compris des relations et des arbitrages effectués entre les diverses dimensions du développement durable, ainsi que des implications à plus long terme des décisions et comportements actuels. Les changements de valeur des indicateurs au cours du temps marquent le progrès ou l'absence de progrès sur la voie du développement durable. L'ensemble de base des IEDD sont au nombre de 30, répartis en trois dimensions (sociale, économique et environnementale), subdivisées en 7 thèmes et 19 sous-thèmes. Le tableau suivant résume thèmes, sous thèmes et indicateurs énergétiques pour les trois dimensions de développement durable (social, économique et environnemental).

Dimension sociale		
Thème	Sous-thème	Indicateur énergétique
Équité	Accessibilité	Part des ménages (ou de la population) sans électricité ou énergie commerciale, ou fortement tributaire d'énergies non commerciales
	Accessibilité économique	Part du revenu des ménages consacrée aux combustibles et à l'électricité
	Disparités	Utilisation d'énergie des ménages pour chaque groupe de revenus et proportion correspondante des différents combustibles
Santé	Sécurité	Accidents mortels par énergie produite par cycle du combustible
Dimension économique		
Modes d'utilisation et de production	Utilisation globale	Utilisation d'énergie par habitant
	Productivité globale	Utilisation d'énergie par unité de PIB
	Efficacité des approvisionnements	Efficacité de la transformation et de la distribution d'énergie
	Production	Rapport réserves/production ; Rapport ressources/production
	Utilisation Finale	Intensité énergétique de l'industrie ; Intensité énergétique de l'agriculture ; Intensité énergétique des services/commerciale ; Intensité énergétique des ménages ; Intensité énergétique des transports
	Diversification (Panier de combustibles)	Part des combustibles dans l'énergie et l'électricité ; Part des énergies non carbonées dans l'énergie et l'électricité ; Part des énergies renouvelables dans l'énergie et dans l'électricité
	Prix	Prix de l'énergie finale par combustible et par secteur

Sécurité	Importations	Dépendance nette à l'égard des importations d'énergie
	Stocks stratégiques de combustibles	Stocks de combustibles critiques par consommation de combustible correspondante
<b>Dimension environnementale</b>		
Atmosphère	Changement climatique	Émissions de gaz à effet de serre dues à la production et à l'utilisation d'énergie par habitant et par unité de PIB
	Qualité de l'air	Concentrations ambiantes de polluants atmosphérique dans les zones urbaines ; Émissions de polluants atmosphériques dues aux systèmes énergétiques
Eau	Qualité de l'eau	Rejets de contaminants dans les effluents liquides des systèmes énergétiques, y compris rejets d'hydrocarbures
Sol	Qualité des sols	Superficie des sols dont l'acidification dépasse la charge critique
	Forêts	Taux de déforestation attribué à l'utilisation d'énergie
	Production et gestion de déchets solides	Rapport déchets solides produits / unités d'énergie produite ; Rapport déchets solides convenablement évacués/total des déchets solides produits ; Rapport déchets solides radioactifs /unités d'énergie produite ; Rapport déchets solides radioactif en attente d'un stockage définitif/total des déchets solides radioactifs produits

## Conclusion

Dans un contexte énergétique de transition (demande croissante d'énergie, respects des engagements acquis, dépendance, scénarios énergétiques), l'éducation et la formation à l'énergie deviennent des enjeux majeurs qui consistent à donner aux citoyens tous les éléments/indicateurs/critères/nœuds de tensions et de controverses qui sont nécessaires à la formation d'un jugement, d'un choix éclairé en vue de participer au débat démocratique. Une grande partie de nos idées et connaissances, ainsi que la base de notre comportement d'adulte, est acquise au cours de notre éducation. Les systèmes éducatifs ont la capacité de modifier les attitudes en présentant de nouvelles idées et de nouveaux concepts et en permettant à « l'apprenant » d'acquérir les compétences sociales et analytiques qui lui permettront d'évaluer rationnellement ses choix dans la vie. L'éducation à l'énergie doit intégrer les concepts d'énergie, d'environnement et d'économie pour contribuer au moyen d'un étayage rationnel du processus de prise de décision. Elle ne peut pour autant faire l'impasse sur les tensions, les débats, les orientations stratégiques, politiques et idéologiques qui traversent ces savoirs. Dans le même temps, il serait illusoire d'attendre que tout à chacun maîtrise l'ensemble de ces savoirs. Il y aura donc besoin d'identifier les « savoirs médians » : cet ensemble hétérogène mêlant chez tout un chacun savoirs académiques multi-référentiels et opinion, croyances et idéologies.

## Références bibliographiques

DELAMOTTE, E. LIQUETE, V. FRAU-MEIGS, D. (2014), « La translittératie ou la convergence des cultures de l'information : supports, contextes et modalités », *Spirale*, p. 145-156.

DEWEY, J. (1916, 1990 trad. française), *Démocratie et éducation*. Paris : A. Colin.

DEWEY J. (1927, 2003 trad. française). *Le public et ses problèmes*. Publications de l'université de Pau : Farrago/Editions Léo Scheer.

LANGE, J.-M. (dir.) (2013), « Education au développement durable, appuis et obstacles à sa généralisation dans et hors l'École », *Penser l'éducation, Hors-Série, décembre*, p. 656.

LANGE J.-M, MARTINAND J.-L. (2014), « Principes d'élaboration et de structuration d'une éducation au développement durable scolaire », in Jacques Brégeon et Fabrice Mauléon (dir.) *Développement durable, compétences 21, comprendre et développer les compétences collectives* (p. 129-145). Paris : ESKA.