

**DEFINITION D'INDICATEURS DE VULNERABILITE
ENERGETIQUE. UNE ANALYSE COMPAREE DES PAYS DE
L'EUROPE DES 15**

Rédaction du rapport :

Agnès d'Artigues¹

Centre de Recherche en Economie et Droit de l'Energie (CREDEN)

Juillet 2008

¹ J'adresse ma plus vive reconnaissance à Jacques Percebois, Professeur, Directeur du Creden, pour son aide précieuse dans toutes les étapes de la réalisation de ce travail. J'adresse également tous mes remerciements au Conseil Français de l'Energie.

Synthèse du rapport

La sécurité d'approvisionnement et la dépendance énergétique apparaissent aujourd'hui comme deux objectifs essentiels des politiques énergétiques des pays industrialisés. Parmi les orientations récentes de la politique communautaire européenne, la sécurité d'approvisionnement est présentée comme une condition nécessaire pour réduire la vulnérabilité énergétique des pays de l'Union européenne. Toutefois, elle ne permet pas d'appréhender toute la complexité de la notion de vulnérabilité énergétique, objet du présent rapport.

La vulnérabilité est souvent évoquée dans la littérature, mais rarement définie ou seulement partiellement. L'enjeu d'une telle définition tient essentiellement au besoin de disposer d'indicateurs permettant de la mesurer. Au regard des problèmes énergétiques actuels, au premier rang desquels la montée des prix des énergies fossiles et la question du changement climatique associé aux émissions polluantes, il apparaît désormais fondamental de pouvoir mesurer ce qui rend les pays vulnérables énergétiquement, de constater les volontés d'harmonisation des politiques énergétiques à l'échelle européenne, de comparer les choix énergétiques pris par les pays et l'efficacité de ces choix face à un environnement énergétique de plus en plus incertain.

La diversification des sources d'approvisionnement énergétique, que ce soit au niveau des énergies primaires ou des pays fournisseurs, est naturellement un objectif à poursuivre, qui va dans le sens d'une moindre vulnérabilité. Par rapport à cet objectif central, il est important d'évoquer l'environnement institutionnel des politiques énergétiques en Europe, car il peut être source de contraintes pour les pays dans leur objectif de diversification. Une deuxième contrainte qui apparaît évidente est le niveau des dotations naturelles des pays en énergies primaires, principalement les énergies fossiles. D'où l'intérêt de présenter un état des lieux énergétique décrivant les niveaux de production énergétique intérieure des pays de l'Europe des 15, et parallèlement le niveau de leurs importations. Le rapport s'attache dans une première partie à présenter ces deux types de contraintes.

L'essentiel du rapport revient toutefois, à partir de ces éléments, à montrer l'importance que revêtent les stratégies de politiques énergétiques des pays. Les pays disposent d'une marge de manœuvre importante dans leurs choix énergétiques, vus comme un moyen de contourner la contrainte de faible dotation en ressources. C'est donc l'objectif central du rapport de présenter une grille d'indicateurs de vulnérabilité énergétique, dont une partie est empruntée à la littérature sur la biodiversité. Ces indicateurs font référence à la diversité énergétique mais également aux problématiques de soutenabilité et d'efficacité énergétique qui complètent l'analyse et permettent une approche relativement exhaustive de la vulnérabilité. Une analyse comparative des pays de l'Europe des 15 est ensuite menée et consiste à calculer les indicateurs de vulnérabilité entre 1990 et 2005.

Les facteurs institutionnels

L'Etat domine le secteur énergétique à partir de la fin de la seconde guerre mondiale par le biais de monopoles publics intégrés, regroupant les activités de production, transport et distribution. Il a en charge les opérations d'investissement de production et de réseaux, la nécessité d'assurer une qualité de service en contrôlant les tarifs et de répondre aux déséquilibres de l'offre et de la demande.

Le marché s'impose ensuite dans les pays européens avec l'ouverture à la concurrence décidée conjointement par les pays et orchestrée par la Commission européenne à partir des années 1980. Les directives communautaires de 1996 et 1998 définissent des seuils d'ouverture des marchés du gaz et de l'électricité, selon un processus par étapes. Des autorités de régulation indépendantes, comme la CRE en France, accompagnent le processus de libéralisation pour pallier le désengagement progressif de l'Etat dans ses missions de régulation du système énergétique.

Des orientations sont régulièrement fixées au niveau communautaire pour accompagner les politiques énergétiques des Etats membres. L'ouverture des marchés est sans cesse réaffirmée, car elle est censée favoriser l'investissement et l'innovation avec des répercussions sur l'emploi et la croissance. Dans un contexte de hausse du prix des énergies fossiles, les principaux enjeux sont dès lors le développement des énergies renouvelables, pour lesquelles l'Union européenne est leader sur le plan mondial, et l'efficacité énergétique grâce en partie aux nouvelles technologies mais également aux progrès réalisés en matière d'habitudes de consommation. Outre l'ouverture, deux autres objectifs sont apparus récemment au centre des débats et des préoccupations énergétiques : d'une part, la réduction des émissions de gaz à effet de serre (l'objectif fixé par la Commission étant une réduction d'au moins 20% d'ici 2020 par rapport aux niveaux de 1990) ; d'autre part, la volonté d'assurer la sécurité d'approvisionnement : du fait de la baisse des réserves et de la hausse de la demande mondiale de pétrole et de gaz, il s'agit d'améliorer la solidarité intra-européenne par le développement des interconnexions et par ailleurs de diversifier au maximum les pays fournisseurs.

Par rapport à ces deux derniers objectifs, leur nécessité est apparue rapidement évidente et ne suscite de débats que par rapport aux niveaux à atteindre et aux moyens à mettre en œuvre pour les atteindre. En revanche, l'ouverture à la concurrence est certainement l'objectif collectivement le moins bien accepté (surtout dans des pays historiquement centralisés comme la France) et le plus controversé au regard de la sécurité d'approvisionnement. La libéralisation des marchés est censée répondre à deux objectifs. Il s'agit d'une part d'améliorer la qualité de service, la concurrence devant amener les opérateurs à diversifier leur offre par des actions de différenciation en fonction des types de clientèle (modulation, tarification, terme des contrats, etc.). Sur ce point, il semble que le bilan soit plutôt positif pour les consommateurs finaux, qui ont bénéficié des efforts faits par les opérateurs pour innover constamment, conquérir des parts de marché et augmenter leur taille sur le marché. Au niveau de la vente de détail notamment, des marchés de niches se sont développés (énergie verte, contrats de fiabilité, de stabilité des prix). Les producteurs offrent désormais des produits et services hautement valorisés par une minorité de clients, marché sur lesquels se sont progressivement développés des économies d'échelle et des réductions de coût. Aux Pays-Bas par exemple, la politique de subvention du gouvernement en faveur des fournisseurs d'énergie verte entre 2001 et 2004 a fait que fin 2004, 40% des foyers hollandais avaient opté pour une offre « électricité verte ».

Un deuxième objectif visé par la libéralisation est la diminution des prix pour les clients, qu'ils soient commerciaux ou résidentiels. Concernant le bilan du processus de libéralisation sur ce point, il convient de noter que la baisse des prix peut seulement être constatée pour les clients éligibles dans les pays ayant retardé l'ouverture complète des marchés comme la France. Le recul est encore insuffisant pour les clients résidentiels.

Sur le marché de l'électricité, on observe en France pour les clients éligibles une baisse des prix à partir de 1996 ; le contexte de la concurrence a permis une relative stabilité des prix en 2001-2002 malgré la hausse des prix du pétrole. Concernant les clients résidentiels, dans les pays où l'ouverture des marchés est complète (Royaume Uni,

Allemagne, Autriche, Finlande, Suède, Pays Bas), on peut constater l'effet de la libéralisation pour les clients résidentiels, en termes de prix et d'offre de services (cf. notamment Capgemini, 2007). Toutefois, le bilan reste mitigé en ce qui concerne l'ouverture des marchés. On observe la difficulté des nouveaux entrants à résister sans s'adosser à de gros opérateurs. Par ailleurs, la mobilité des consommateurs vers ces nouveaux entrants reste limitée. Même au niveau des prix, le bilan est difficile à établir dans la mesure où la baisse des prix de 10% enregistrée l'a été dans un contexte de baisse des prix de gros.

Suite à ces premières années d'ouverture, la facture énergétique du consommateur éligible dans la plupart des pays européens est en progression constante ces dernières années. La volatilité des prix ne tient pas à la libéralisation des marchés, mais principalement à la hausse des prix du pétrole et du gaz, celle des prix de gros de l'électricité en Europe, également celle des prix des certificats de droits d'émission de CO₂ en 2005 et début 2006, enfin le manque d'investissements dans les infrastructures électriques et gazières.

Dans le secteur du gaz, on a pu observer une baisse des prix pendant plusieurs années. La mobilité des clients est plus faible dans ce secteur au vu de ce que l'on observe dans les pays ayant réalisé l'ouverture assez tôt. Du fait du petit nombre de pays producteurs, une part importante du prix final du gaz se définit en dehors du champ de la libéralisation. Le fait de voir se constituer des opérateurs puissants sur le plan européen est susceptible d'augmenter leur pouvoir de négociation vis-à-vis des producteurs étrangers. Il y a cependant le risque de voir se constituer des ententes, qui seraient synonymes de hausse des prix du gaz livré en France et plus largement en Europe. La libéralisation devrait néanmoins jouer favorablement sur le restant des coûts (entre 40 et 50%). Il reste enfin qu'un enjeu central du secteur gazier face à l'ouverture des marchés est le développement des infrastructures de transport (approvisionnements extérieurs par gazoduc ou méthanier, échanges transfrontaliers et réseau national) qui, au-delà des efforts de coopération, jouera sur la sécurisation de l'approvisionnement à long terme. On peut placer certains espoirs dans le développement du marché du gaz naturel liquéfié, dont la croissance est estimée à 8% par an d'ici 2015. Les projets d'usines de regazéification existent en Europe (en France, en Espagne, en Italie et au Royaume Uni) et offrent des perspectives intéressantes en matière de sécurité d'approvisionnement.

La libéralisation des marchés offre un bilan mitigé en termes de baisse des prix, dont les variations sont dues principalement à d'autres facteurs. Elle peut apparaître également comme une contrainte pour les Etats fortement centralisés, qui ont dû adapter leur marché à un environnement de plus en plus incertain. Concernant les bénéfices en termes de diversification, la théorie économique s'attache à montrer que l'ouverture des marchés apporte la sécurité d'approvisionnement, en augmentant le nombre de fournisseurs potentiels. Toutefois, si cela est vrai en amont, au niveau des fournisseurs, l'offre reste concentrée dans les mains d'un petit nombre d'acteurs sur le marché. Le fait que la libéralisation puisse accroître la sécurité d'approvisionnement repose sur la réalité de l'ajustement global de l'offre et de la demande. On peut souligner par ailleurs que le risque de défaillance du système et la question de la « marge excédentaire de capacité », qui incombait jusque là au monopole public intégré, doivent être posés dans un espace libéralisé. Dans le cas de l'électricité, énergie qui ne se stocke pas, le risque de rupture d'approvisionnement dépend du niveau de cette marge excédentaire de capacité relativement à la puissance de pointe appelée. Dans un système ouvert à la concurrence, où les entreprises ont intérêt à être en sous-capacité, les risques de défaillance sont plus grands.

Le rôle de l'Etat demeure déterminant dans un tel espace. Il doit tout à la fois se désengager tout en continuant à inciter et à réguler. Il s'agit notamment d'inciter les entreprises à se diversifier technologiquement dans un environnement incertain au niveau des

prix de l'énergie, également d'imposer ou faire appliquer des normes contraignantes en matière d'émissions polluantes. On montre par ailleurs que la question de la crédibilité des politiques mises en place est déterminante, montrant à quel point l'Etat doit être conscient de ses choix énergétiques et des moyens mis en œuvre, notamment fiscaux, pour les promouvoir.

Les dotations en ressources

Un autre point à considérer en termes de contraintes pour les gouvernements confrontés au problème de la vulnérabilité énergétique concerne les dotations naturelles en ressources primaires. Un état des lieux énergétique est présenté dans la deuxième partie du rapport afin de constater le niveau de production d'énergie des pays de l'Europe des 15 et la nécessité plus ou moins grande de recourir aux énergies importées.

Il apparaît au terme de cet état des lieux qu'au-delà de la distinction évidente entre les pays qui, en Europe, produisent du pétrole et du gaz naturel et ceux qui n'en produisent pas, les choix énergétiques de développement de certaines filières offrent aux pays non dotés des perspectives plus que satisfaisantes en matière d'approvisionnement. La dépendance énergétique n'est pas seulement liée à la faiblesse en ressources mais bien aux efforts entrepris par les pays pour développer les énergies alternatives (renouvelables ou nucléaire). Ces efforts peuvent porter à la fois sur le soutien aux technologies innovantes et sur les mesures incitatives auprès des usagers pour les amener à modifier leurs habitudes de consommation.

Le petit groupe des pays producteurs en Europe est composé du Royaume Uni et du Danemark, qui produisent à la fois du gaz et du pétrole, et qui sont indépendants énergétiquement. Il y a par ailleurs les Pays Bas qui produisent seulement du gaz naturel, et qui sont dépendants énergétiquement du pétrole. Toutefois, le taux de dépendance énergétique de ce pays reste bien en deçà de la moyenne européenne. En effet, bien que les Pays-Bas n'aient pas de nucléaire, ils ont développé une stratégie résolument tournée vers les énergies renouvelables, afin de se désengager progressivement des énergies fossiles (qui représentaient 96% de leur approvisionnement en 2004). Le Danemark n'a pas de nucléaire et tente de compenser son manque de pétrole par une politique active de soutien aux énergies renouvelables. Le choix du Royaume Uni de développer le nucléaire, mais pas les renouvelables, lui permet de disposer d'une certaine marge de manœuvre énergétique.

Parmi les pays non producteurs de pétrole et gaz naturel, plusieurs groupes de pays peuvent être distingués, en fonction de leur choix pour la filière nucléaire et/ou renouvelable. En premier lieu, la Suède, la Finlande et l'Espagne, dans une moindre mesure la France, sont relativement bien diversifiés énergétiquement (nucléaire, renouvelables et pour certains, combustibles solides). La Suède se caractérise par un taux de dépendance énergétique particulièrement faible par rapport aux autres pays de ce groupe. Cela tient d'une part à la présence à parts relativement égales et élevées du nucléaire et des renouvelables dans l'approvisionnement énergétique et la production d'électricité. D'autre part, la dépendance vis-à-vis du pétrole est une cible de la politique énergétique engagée par la Suède, qui s'est donnée pour ambition d'être indépendante des énergies fossiles d'ici 2020 (notamment par un développement de la filière biocarburants). La Finlande est exemplaire en matière d'équilibre des parts relatives des différentes énergies constituant son approvisionnement. Son taux de dépendance énergétique n'a cessé de baisser depuis 1990, contrairement à beaucoup de pays européens, notamment grâce à la part très significative prise par les renouvelables. L'Espagne est très dépendante du pétrole et du gaz naturel, du fait d'une croissance soutenue. Elle se caractérise toutefois par un pourcentage plus élevé de renouvelables par rapport au reste de l'Europe (biocarburants, éolien) ; le pays produit toujours des combustibles solides (même si

leur part a été divisée par deux depuis 1990). La France se classe dans ce groupe de pays, par la diversification de son approvisionnement. Toutefois, bon élève en matière de renouvelables, dans les années 1990, elle se situe désormais dans la moyenne européenne. Au vu des politiques actives engagées par plusieurs pays, la part relative des renouvelables en Europe risque d'augmenter et l'effort de la France doit être soutenu pour éviter d'être dépassée dans ce domaine. Le taux de dépendance énergétique plus faible que la moyenne de ses voisins européens est directement lié à l'importance particulière de sa filière nucléaire.

Dans un deuxième groupe, on trouve l'Allemagne et la Belgique. L'Allemagne produit du nucléaire mais la part des renouvelables est plus faible que la moyenne de l'UE-15. Par rapport à la France, le nucléaire représente en Allemagne une part bien moins significative dans l'approvisionnement. Une spécificité de l'Allemagne est le poids toujours important des combustibles solides (alors qu'en France, le choix a été fait d'en abandonner la production). Les renouvelables ont fait l'objet d'un développement considérable depuis 1990, et l'Allemagne est en train de rattraper son retard concernant la place qu'occupent ces énergies dans son approvisionnement. La Belgique ne dispose d'aucunes ressources en énergies fossiles, y compris le charbon. Sa performance médiocre en termes de dépendance énergétique est liée au poids du pétrole et au fait que, contrairement à la France, une part non négligeable de sa production d'électricité dépend du gaz importé. La part des renouvelables est nettement inférieure à la moyenne européenne.

Le troisième groupe se compose de quatre pays, qui n'ont pas fait le choix du nucléaire mais dont la part des renouvelables est plus importante que la moyenne de leurs partenaires européens. Tout d'abord, l'Italie se caractérise par une part du pétrole qui est importante dans l'approvisionnement, expliquant un taux de dépendance énergétique très supérieur à la moyenne européenne. Ce taux élevé s'explique également par le fait que l'Italie ne produit pas de combustibles solides. Le gaz domine désormais au niveau de la production d'électricité. En l'absence de nucléaire et d'énergies fossiles, l'Italie n'a guère d'autre choix que celui de développer la filière renouvelable (géothermie, hydroélectricité et biomasse). Le Portugal, contrairement à l'Italie, a deux atouts : sa filière renouvelable est mieux positionnée dans l'approvisionnement (15% par rapport à une moyenne européenne de 6% en 2004) ; par ailleurs, le pays continue à faire reposer sa production d'électricité majoritairement sur les combustibles solides. La Grèce est quant à elle dans la moyenne européenne en termes d'énergies renouvelables, et continue comme le fait le Portugal à produire de l'électricité à partir de combustibles solides. Le fait de pouvoir passer dans le dernier groupe de pays tient comme pour la France au caractère plus ou moins volontariste de sa politique de développement des renouvelables. Les parts des différentes énergies dans l'approvisionnement de l'Autriche sont restées relativement stables depuis 1990. Le pétrole et le gaz dominant, puis le charbon. La part des renouvelables, qui sont utilisées principalement pour la production d'électricité, est particulièrement élevée (20%) par rapport à la moyenne européenne.

Dans le dernier groupe de pays, on trouve l'Irlande et le Luxembourg. L'approvisionnement énergétique de ces deux pays repose quasi-exclusivement sur les énergies fossiles importées. L'Irlande a toutefois amorcé une politique en faveur des renouvelables, qui est un secteur en devenir dans ce pays.

Au-delà de l'environnement et de la faible dotation en ressources, cette première analyse montre que les pays disposent d'une marge de manœuvre importante dans leurs choix énergétiques. Cette analyse doit être complétée par la définition d'indicateurs de vulnérabilité énergétique. Ces indicateurs font référence à la diversité énergétique mais également aux problématiques de soutenabilité et d'efficacité énergétique qui permettent de proposer des

éléments de mesure de la vulnérabilité. Ces indicateurs sont calculés pour les pays de l'Europe des 15 entre 1990 et 2005.

Les indicateurs de vulnérabilité énergétique

Il n'existe pas à notre connaissance de synthèse d'indicateurs de vulnérabilité énergétique. La littérature propose des analyses partielles traitant de la dépendance énergétique, de l'efficacité énergétique ou encore du développement durable. Mais peu de travaux de recherche ont été entrepris pour construire des indicateurs de sécurité d'approvisionnement énergétique à long terme.

Concernant la **diversité** d'un système, il est fréquent de l'associer au nombre des éléments qui le constituent. La référence à la littérature sur la mesure de la biodiversité permet de montrer que la seule référence au nombre de ses éléments est insuffisante pour appréhender la diversité d'un système (cf. notamment Baumgärtner, 2006). Un système est plus diversifié qu'un autre s'il se définit par un nombre d'espèces différentes plus élevé, mais également si les individus sont répartis de manière plus homogène entre les différentes espèces et si les espèces dans le système sont plus dissemblables entre elles. Ces apports sont empruntés par certains auteurs en économie dans le domaine de l'énergie. En particulier, on notera les travaux importants de Stirling (1999) qui appréhende la diversité énergétique à partir de trois dimensions en étroite correspondance avec les notions de biodiversité évoquées précédemment : la variété, l'équilibre et la disparité.

L'indicateur de diversité de base est l'indice de Shannon-Wiener, qui mesure la diversité des sources d'énergies primaires d'un pays. Cet indice est également utilisé pour tenir compte de la diversité des régions d'origine des importations, à la fois pour le pétrole, le gaz naturel et les combustibles solides. Un dernier indicateur consiste à calculer l'indice de diversité par type d'énergie en intégrant la part de la production intérieure, qui modifie l'importance à accorder à la seule diversité des pays fournisseurs.

La **soutenabilité** énergétique est calculée selon trois dimensions. D'une part, à partir de l'indice de base de Shannon-Wiener, on intègre l'ensemble des éléments évoqués au niveau d'un indicateur synthétique, qui reprend donc à la fois la diversité des sources d'énergie, celle des pays d'origine des importations, le niveau de production intérieure, en ajoutant deux éléments distincts : la stabilité politique des régions d'origine des importations (mesurée par le niveau de PIB) et la raréfaction des ressources en énergies primaires (ratio R/P).

D'autre part, la soutenabilité est mesurée à partir du taux d'interconnexion, correspondant au rapport entre la capacité totale d'échanges et la capacité de production installée d'un pays. Lorsqu'il est élevé, le taux d'interconnexion est significatif de la possibilité pour un pays d'une part d'augmenter l'efficacité de sa production énergétique (économies d'échelle), d'autre part d'accroître sa sécurité d'approvisionnement s'il est faiblement doté en ressources énergétiques. Comme on l'a également évoqué, la réalisation d'un marché européen concurrentiel dépend de la qualité de ses interconnexions ; si elles sont insuffisantes, des situations de position dominante peuvent émerger.

Enfin, la soutenabilité fait référence au caractère durable des choix énergétiques. Sur ce point, de nombreux indicateurs peuvent être calculés. Nous avons fait le choix d'en retenir deux principalement, qui nous paraissent les plus représentatifs de cette dimension de durabilité énergétique : la consommation énergétique par tête, qui permet de mesurer l'évolution des comportements de consommation énergétique dans le temps, et les émissions

de CO₂ par habitant, qui montrent l'évolution également dans le temps des comportements de rejet d'émissions polluantes des populations.

Les indicateurs d'**efficacité** énergétique retenus permettent d'appréhender cette dimension à deux niveaux : d'une part, l'efficacité énergétique est associée à la maîtrise de la consommation, notamment par type de secteur dans l'économie ; on utilise dans ce cas la consommation finale d'énergie pour le secteur industriel, celui des transports, le secteur résidentiel, tertiaire et agricole. D'autre part, dans l'acte de production, il est également intéressant de s'interroger sur l'efficacité énergétique. La littérature utilise parfois le ratio de productivité de l'énergie, exprimée par le rapport entre la production et la quantité d'énergie utilisée pour la produire. Son utilisation peut se justifier si on considère que l'énergie est un facteur de production, au même titre que le travail humain, le capital ou la terre. Ce ratio met alors l'accent sur l'usage productif de l'énergie, en complément des ratios de productivité du capital ou du travail. Ceci peut apporter un éclairage utile pour savoir si les inputs agissent comme des compléments ou des substituts aux autres facteurs.

Toutefois, il est plus courant dans la littérature d'utiliser l'inverse de ce ratio pour mesurer l'efficacité énergétique, choix que nous avons nous-mêmes retenus. C'est l'intensité énergétique de l'activité productive, définie comme le ratio de l'énergie utilisée par rapport à une mesure de l'activité productive. L'intensité énergétique permet de donner une indication de l'efficacité d'utilisation de l'énergie pour produire de la valeur ajoutée. Une baisse de l'intensité énergétique est synonyme de plus grande efficacité.

Les résultats de l'analyse comparative

Nous ne faisons apparaître ici que certains résultats, laissant au lecteur la possibilité d'aller plus loin en consultant l'intégralité du rapport.

Tout d'abord, concernant la **diversité énergétique**, le premier indicateur est basé sur le nombre et les parts relatives de **sources d'énergies primaires** composant le bouquet énergétique des pays. Un pays est d'autant plus diversifié en termes d'énergies primaires dans son approvisionnement que l'indicateur est élevé. Cinq sources d'énergies primaires au maximum (combustibles solides, pétrole, gaz naturel, nucléaire et renouvelables) constituent l'approvisionnement énergétique des pays.

Certains pays ne s'approvisionnent pas à partir de cinq énergies mais seulement de quatre d'entre elles, par exemple le Danemark et l'Autriche où le nucléaire est inexistant. Leurs résultats toutefois satisfaisants en matière de diversité tiennent à une stratégie marquée de développement des énergies renouvelables (Danemark 15% et Autriche 21% en 2004). Dans ce cas, un nombre moins important de ressources dans le mix énergétique est compensé par une relative homogénéité des parts relatives des énergies existantes, notamment pour les énergies renouvelables dont la part est en moyenne en Europe relativement marginale (6% en 2004 pour l'Europe des 15).

L'importance de l'indice pour la Finlande, qui arrive en tête du classement des pays, tient au fait que contrairement à certains pays de l'Europe des 15, le nucléaire est bien présent dans son approvisionnement énergétique. Par ailleurs, depuis 15 ans, le pétrole qui était la source d'énergie dominante a vu sa part fortement diminuer au profit du gaz mais surtout des énergies renouvelables (la deuxième source d'énergie, représentant 23% de son approvisionnement énergétique en 2004). Enfin, le charbon a été maintenu comme une source d'énergie non marginale, voire en légère progression, ce qui est spécifique à la Finlande par rapport à ses partenaires européens. Ce pays se distingue des autres par un équilibre dans les parts relatives des énergies composant son approvisionnement.

Pour les mêmes raisons, liées à la diversité de son approvisionnement et une relative homogénéité des parts des différentes énergies, l'Allemagne appartient au groupe de tête. Bien que les énergies renouvelables ne représentent que 4% de son approvisionnement, leur part a cependant doublé depuis 1990. On note les efforts de ce pays pour développer des énergies de substitution aux énergies fossiles. La Belgique et l'Espagne sont également bien placées, ce qui est lié pour la première au choix du nucléaire comme une importante source d'énergie, et pour l'Espagne à sa politique historique de développement des énergies renouvelables.

Le positionnement de la France qui demeure dans le groupe de tête, mais loin derrière la Finlande, tient principalement au poids du nucléaire (42% de son approvisionnement, par rapport aux 15% de la moyenne européenne). Par ailleurs, la place du charbon est devenue de plus en plus marginale, voire inexistante.

La diversité peut également s'exprimer en fonction du nombre de **pays fournisseurs** et de l'importance relative de chaque fournisseur dans l'approvisionnement du pays concerné dans l'énergie considérée. Pour cet indicateur comme pour le précédent, une valeur élevée signifie un degré de diversification important.

Concernant le **pétrole**, par exemple, le bon positionnement de la France tient au nombre important de ses fournisseurs de pétrole ainsi qu'à une plus grande homogénéité de leurs parts relatives. La France a quatre fournisseurs historiques (Arabie Saoudite, Norvège, ex-URSS et Royaume-Uni). La baisse de la part du Royaume Uni dans l'approvisionnement de la France s'est faite en faveur de l'ex-URSS mais également des petits pays fournisseurs, comme la Libye, l'Angola ou l'Algérie.

Cette situation de la France ou de l'Espagne contraste avec celle de l'Allemagne, certes bien diversifiée au niveau de ses fournisseurs mais qui depuis 1997 a considérablement renforcé la position de l'ex-URSS dans son approvisionnement (cette part a doublé pour atteindre 42% en 2004). On peut faire le même constat pour l'Espagne, bien diversifiée en termes de fournisseurs, et qui a fait progresser la part de ses petits fournisseurs, tout en augmentant les importations de pétrole en provenance de la Russie.

La Finlande a privilégié également une stratégie de concentration de son approvisionnement autour de trois fournisseurs (Russie, Danemark, Norvège) alors que ce pays était beaucoup plus diversifié au niveau de ses fournisseurs en 1997 (la part de l'Arabie Saoudite est proche de 0 à partir de 2003). Le scénario est identique pour l'Autriche dont 15% et 17% de ses importations étaient assurées respectivement par la Libye et l'Algérie ; ces deux pays ne représentent quasiment plus rien dans l'approvisionnement de l'Autriche.

Le même exercice peut être reproduit pour les pays fournisseurs de **gaz naturel**. Un premier groupe de pays a choisi de diversifier les pays les approvisionnant en gaz naturel. Le bon positionnement de la France tient d'une part à l'homogénéisation des parts relatives de ses fournisseurs de gaz, qui sont en outre nombreux (Norvège, ex-URSS, Pays-Bas, Algérie, Nigéria). D'autre part, le Nigéria fait désormais partie des pays exportateurs de gaz vers la France (8% de ses importations en 2005). C'est également le cas de l'Italie, qui compte depuis le début des années 2000 la Norvège et la Libye parmi ses pays fournisseurs de gaz, ou encore l'Espagne, qui ne compte pas moins de 10 pays fournisseurs de gaz, avec l'Algérie qui assure 43% de ses approvisionnements en 2005. L'augmentation très nette de l'indice pour les Pays Bas s'explique par le fait que 90% de ses importations de gaz étaient assurées en 1997 par la Norvège, le reste par le Royaume Uni. En 2005, la part de la Norvège ne représente plus que 30%, l'Allemagne (avec 58%) et la Belgique approvisionnant également les Pays Bas en gaz.

Un deuxième groupe de pays à l'inverse est constitué de pays ayant choisi de s'approvisionner auprès de deux voire d'un seul fournisseur historique de gaz naturel. En 1997, le Portugal et la Grèce étaient fournis en gaz naturel par un seul pays (l'Algérie pour le Portugal et les pays de l'ex-URSS pour la Grèce). Désormais, ces deux pays s'approvisionnent auprès de deux fournisseurs, la Grèce ayant recours à l'Algérie qui représente 16% de ses importations, et le Portugal au Nigéria qui représente en 2005 38% de ses importations. Certains pays comme l'Irlande, la Finlande et la Suède, ont conservé un seul fournisseur historique (le Royaume Uni pour l'Irlande, l'ex-URSS pour la Finlande et le Danemark pour la Suède). Le Danemark est quant à lui un exportateur net de gaz naturel.

Le même exercice est fait pour le **charbon** et les **produits pétroliers**. Concernant le charbon, on observe globalement à l'échelle européenne une diminution de la part du charbon dans l'approvisionnement énergétique de la quasi-totalité des pays. Par ailleurs, certains pays comme la France ont abandonné le charbon dans leur production intérieure. L'indice de diversité relatif à l'approvisionnement en charbon est le plus élevé pour la France. Cette performance tient comme pour le gaz à la conjonction d'une grande diversité de pays fournisseurs, dont la part relative pour certains est loin d'être marginale.

Dans un second temps, on intègre à ces indicateurs de diversité des pays fournisseurs la part de la **production intérieure** d'énergie, ce qui peut considérablement modifier la position relative de certains pays exportateurs nets d'énergie primaire.

Ainsi, concernant le pétrole, les pays qui étaient en tête du classement (sans prendre en compte la production intérieure), à savoir l'Espagne, la France ou le Portugal, demeurent relativement bien positionnés, leurs efforts marqués de diversification les ayant placés largement en tête par rapport à leurs partenaires européens. En revanche, le Royaume Uni, qui était à la 10^{ème} place, se place désormais en seconde position, avant la France. Toutefois, on observe pour ce pays une nette diminution de son indice sur la période, du fait d'une réduction de ses exportations de pétrole sur la période (pic de production). Le mauvais classement du Danemark s'explique par le fait qu'il n'a pas développé de stratégie de diversification de ses fournisseurs sur la période d'analyse.

Concernant le gaz, la prise en compte de la production intérieure modifie le positionnement des pays en matière de diversité. Mais comme pour le pétrole, la stratégie de diversification demeure une variable importante. Les Pays-Bas exportent du gaz et ont par ailleurs diversifié leurs fournisseurs, ce qui les place désormais en tête du classement. L'indice du Royaume Uni a doublé sur la période, bien que sa place n'ait pas progressé dans le classement, ce qui est lié non pas à ses médiocres performances mais plutôt à la stratégie de diversification des autres pays européens.

En revanche, concernant le charbon, la hiérarchie s'est sensiblement modifiée sur la période. Cela tient au fait qu'en matière d'approvisionnement, tous les pays ont des fournisseurs diversifiés, et par conséquent la part de la production intérieure intervient comme un élément déterminant dans le calcul de l'indice. Par ailleurs, certains pays comme la France ont quasiment abandonné la production de cette énergie.

En ce qui concerne la **soutenabilité énergétique**, un premier indicateur retenu est l'indice de Shannon-Wiener synthétique, intégrant la diversité en matière d'énergies primaires, de fournisseurs de ces énergies, la part de la production intérieure des pays importateurs, éléments auxquels s'ajoute la **stabilité politique** des pays fournisseurs.

La prise en compte de ces différents déterminants tend à montrer que la stabilité politique est assez peu déterminante sur les résultats et ne modifie guère le classement. C'est

la richesse naturelle en ressources énergétiques primaires qui domine. En effet, le Danemark et le Royaume Uni, à la fois producteurs de gaz et de pétrole, occupent le haut du classement de cet indicateur synthétique. Il faut toutefois observer qu'une stratégie affirmée de diversification à la fois des énergies et des pays fournisseurs permet à certains pays comme la France ou l'Allemagne d'être relativement bien positionnés. Ainsi, malgré la faiblesse des dotations naturelles en ressources, la marge de manœuvre énergétique des pays demeure significative. Ils peuvent d'une part chercher à privilégier les énergies renouvelables. La filière nucléaire est désormais rediscutée par des pays ayant fait le choix de l'abandonner, pour des raisons de sécurité d'approvisionnement et d'énergie relativement bon marché. Enfin, une latitude d'action demeure dans le choix des fournisseurs et de leur nombre.

La diversification énergétique passe également par les efforts des gouvernements pour se positionner sur le marché mondial de l'énergie, notamment par la participation à des projets d'investissement d'envergure (construction de réseaux et d'infrastructures).

Le taux d'**interconnexion** électrique est particulièrement élevé pour les pays du Nord de l'Europe, du fait de stratégies coopératives en matière de fourniture d'électricité. La position géographique peut également expliquer la faiblesse du ratio. Géographiquement, il faut s'attendre à des niveaux plus faibles pour des pays insulaires, comme le Royaume-Uni ou l'Irlande, ou situés en bordure de l'espace européen, comme l'Espagne ou le Portugal.

La faiblesse du taux peut également être liée à l'importance de la capacité installée. Rapportée à la capacité de transit, le ratio est nécessairement faible, ce qui est notamment le cas pour la France.

Un dernier indicateur de soutenabilité énergétique mesure la **consommation énergétique par tête**. On observe sur la période d'analyse l'élévation de cette consommation pour tous les pays de l'Europe des 15, sauf l'Allemagne. En fonction des pays, les performances s'expliquent par des causes très diverses.

La géographie et un climat plus rigoureux peuvent expliquer des niveaux de consommation par habitant plus élevés que la moyenne, notamment pour les pays du Nord de l'Europe. Pour des pays comme le Portugal, la Grèce, l'Italie, l'Espagne et l'Irlande, ils ont connu une croissance économique élevée après avoir fait partie des pays les moins avancés en Europe. Ils ont rattrapé une grande partie de leur retard de développement, générant une progression importante de leur consommation énergétique. La transformation des modes de consommation énergétique, à la fois dans le secteur résidentiel (confort), les transports (augmentation de la mobilité des individus) et dans l'industrie, ne pourra être que graduelle.

La France se situe en deçà de la moyenne européenne en matière de consommation énergétique par tête. Par ailleurs, son taux de progression est relativement faible par rapport à la plupart de ses partenaires européens.

Globalement, on observe une correspondance entre les niveaux de consommation par tête et les **émissions de carbone**, à quelques exceptions près. Les différences peuvent être liées à une stratégie particulièrement active de la part de certains pays pour limiter les émissions, même si les préoccupations environnementales sont partagées par tous. D'autre part, ces niveaux dépendent de la prééminence des énergies polluantes (pétrole et charbon) dans l'approvisionnement. On peut inscrire dans ce dernier cas des pays comme la Belgique ou les Pays Bas, dont l'approvisionnement est centré sur les énergies fossiles.

Les efforts du Danemark pour développer les énergies renouvelables ont contribué à améliorer l'intensité en carbone de l'économie danoise. C'est le premier pays au monde à avoir introduit le système des quotas d'émission de CO₂, afin de limiter les émissions à la fois

dans le secteur industriel et le secteur énergétique. Tous les revenus fiscaux collectés sont réinvestis dans des projets participant à l'amélioration de l'efficacité énergétique.

Plus encore que pour la consommation par tête, la France est très bien positionnée. On peut certainement trouver une grande part de l'explication par le poids du nucléaire, qui est une énergie connue pour être peu polluante en matière d'émissions de carbone. L'Irlande a connu une forte croissance économique, et le développement des transports s'est traduit par une augmentation assez nette des émissions de CO₂.

Enfin, en termes d'**efficacité énergétique**, deux indicateurs ont permis de la mesurer pour les pays de l'Europe des 15. On observe en premier lieu les parts respectives de chaque secteur dans la **consommation finale d'énergie** pour l'ensemble des pays de l'Europe des 15 en 1990 et 2004, d'autre part l'évolution de la consommation finale d'énergie par secteur entre 1990 et 2004 pour chaque pays et l'Europe des 15 dans son ensemble.

Sans reprendre la totalité des résultats obtenus pour chaque pays, on observe par exemple que l'Allemagne est le seul pays dont la demande d'énergie est quasiment stable sur toute la période, et également le seul pays à avoir réduit sa consommation d'énergie dans deux secteurs sur la période. Ces progrès ont été réalisés par le secteur industriel (-18%) et le secteur tertiaire et l'agriculture (-19%). Par ailleurs, c'est en Allemagne que la demande d'énergie dans les transports a le moins progressé (6% contre 27% pour l'ensemble de l'Europe des 15). Ainsi, le secteur industriel représentait la principale composante dans la demande d'énergie finale en 1990, mais c'est désormais le secteur résidentiel qui domine (33% de la demande en 2004) et qui a très nettement progressé depuis 1990. La réunification allemande s'est accompagnée d'une restructuration du secteur industriel, qui est un facteur clé pour expliquer la réduction de la demande énergétique dans l'industrie.

En France, on observe une hausse régulière de la demande énergétique en France depuis 1990, liée à la croissance démographique, une croissance économique soutenue, le développement des transports, un usage domestique de l'électricité en hausse et des besoins en énergie peu compressibles pour les gros consommateurs industriels. Toutefois, par rapport à ses partenaires européens, la France est plutôt bien positionnée, à la cinquième place des pays dont la demande d'énergie a le moins augmenté sur la période.

En 2004, les secteurs de l'industrie et des transports représentent plus de la moitié (55%) de la consommation d'énergie finale (contre 58% en 1990). La part consommée par le secteur des transports demeure inchangée, la diminution concernant seulement le secteur industriel. Les transports restent historiquement le secteur le plus gros consommateur d'énergie en France. La progression la plus nette concerne les activités tertiaires et l'agriculture, dont la consommation d'énergie finale a augmenté de près de 40% depuis 1990.

Le Danemark fait partie des quelques pays exemplaires en matière de demande énergétique. La progression dans le secteur des transports se situe dans la moyenne européenne (28%), mais pour l'ensemble des secteurs, ses performances en matière de faible croissance de la demande sont à observer. C'est le secteur des transports qui consomme le plus d'énergie. Ces résultats en matière de consommation énergétique ont été obtenus en dépit d'un contexte de croissance économique élevée, de transformation de la demande dans la plupart des secteurs et de plus grande mobilité des individus. Depuis 1990, le PIB a augmenté de 50% alors que la consommation énergétique est restée relativement stable. Une large gamme de politiques a été employée pour parvenir à ces objectifs, en particulier une fiscalité incitative et une information largement diffusée sur les consommations d'énergie. Des normes

strictes ont été appliquées dans le secteur de la construction pour améliorer les performances en matière de chauffage et d'éclairage.

La Suède également a su faire face à des conditions relativement défavorables, notamment de climat, par des normes strictes de contrôle de la performance énergétique des bâtiments. La Suède fait ainsi partie des bons élèves de l'Europe en matière de consommation énergétique, mis à part dans le secteur industriel, où la consommation a progressé à un rythme supérieur au reste de l'Europe.

L'intensité énergétique est le deuxième indicateur mesurant l'efficacité énergétique du côté de la production. Les chiffres observés en 2004 montrent que c'est le Danemark qui a la plus faible intensité énergétique, du fait des mesures considérables qui ont été entreprises pour améliorer l'efficacité énergétique. Les efforts du pays pour développer les énergies renouvelables ont contribué à améliorer l'efficacité énergétique.

Concernant l'Allemagne, ce sont les taxes sur l'énergie dans le secteur des transports et dans la construction qui sont en partie responsables des performances en matière d'efficacité énergétique. Associées aux restructurations industrielles liées à la réunification, ces évolutions ont permis à l'Allemagne d'avoir une intensité énergétique globale qui est inférieure à la moyenne européenne en 2004.

L'intensité énergétique en France a légèrement diminué, malgré une croissance économique relativement soutenue, le développement du secteur des transports, l'augmentation de la consommation d'électricité, notamment dans le secteur résidentiel, et les besoins croissants des gros industriels. Ces dernières années, des efforts considérables ont été menés pour réduire l'intensité énergétique. On peut notamment citer les crédits d'impôt relatifs aux économies d'énergie et au développement des énergies renouvelables, système mis en place début 2005, renforcé en 2006 avec l'augmentation du taux de crédit d'impôt de 40 à 50% pour des équipements utilisant des énergies renouvelables.

Les mauvais résultats de la Finlande tiennent à plusieurs facteurs, principalement une production industrielle intense en énergie, de longues distances associées à une faible densité de population ainsi qu'un climat rigoureux. L'industrie et les ménages consomment 69% de l'énergie et 80% de l'électricité produite en 2004. Un programme a été engagé en 1998, incluant des audits énergétiques, et des objectifs d'économies d'énergie, programme qui a été prolongé pour deux années supplémentaires en 2005.

Un pays comme le Royaume Uni a réussi à considérablement réduire son intensité énergétique sur la période, du fait de la transition opérée dans le secteur de l'énergie.

Afin de conclure cette synthèse, il s'agit de rappeler qu'au-delà des contraintes qui pèsent sur les pays, que ce soit en termes institutionnels, lorsque la transition vers un marché énergétique concurrentiel a été plus ou moins lourde à porter selon les pays, ou en termes de dotations naturelles en énergies primaires qui sont inexistantes pour la plupart des pays européens, les gouvernements disposent d'une marge de manœuvre non négligeable pour faire face aux défis énergétiques actuels. Une stratégie affirmée de diversification à la fois des énergies et des pays fournisseurs est un moyen pour les pays de répondre au handicap d'une faiblesse en ressources. L'exemple de la Finlande, de la France ou de l'Allemagne est représentatif sur ce point. Les perspectives sont importantes concernant le développement de la filière nucléaire ou renouvelable, d'autant que ces filières répondent aux enjeux actuels des politiques énergétiques, notamment environnementaux. Les gouvernements ont un rôle à jouer non négligeable pour soutenir ces filières, que ce soit dans l'accompagnement des comportements de consommation ou dans la participation au niveau des investissements technologiques et d'infrastructures de réseaux.

Introduction

Dans la littérature, la vulnérabilité est parfois associée, de manière restrictive, à la notion de dépendance énergétique, situation dans laquelle l'approvisionnement énergétique d'un pays s'effectue, pour une large part, grâce à l'énergie importée. La dépendance est à la vulnérabilité ce que la croissance est au développement : une condition nécessaire mais non suffisante pour appréhender la complexité du concept de vulnérabilité.

Une définition largement utilisée consiste à retenir pour la vulnérabilité une situation où la sécurité d'approvisionnement énergétique d'un pays n'est pas assurée. L'objectif d'assurer la sécurité d'approvisionnement énergétique du pays est primordial et constitue pour beaucoup l'objectif central de la politique énergétique. Cependant, c'est d'une part un objectif difficilement mesurable en l'état, et d'autre part, il faut nécessairement y faire référence dans un horizon temporel de long terme, pour pouvoir l'associer étroitement à la définition de la vulnérabilité.

Nous définissons le concept de vulnérabilité, à partir de trois notions : la diversité, l'efficacité et la soutenabilité énergétique. Ces trois concepts sont liés. On imagine mal une politique ou une situation énergétique soutenable qui ne soit pas efficace et diversifiée. Par exemple, l'amélioration de l'efficacité énergétique par la diminution de la consommation vise en priorité la réduction des émissions polluantes, qui est un facteur de soutenabilité. Un des objectifs du rapport est d'associer à ces trois notions de diversité, d'efficacité et de soutenabilité, des indicateurs appropriés afin de mesurer la vulnérabilité.

Concernant la **diversité** énergétique, il peut s'agir à la fois d'une diversité des sources d'énergie (développement d'un mix énergétique, notamment par le renforcement de la filière gaz ou actuellement celui de la place des énergies de substitution aux énergies fossiles) ; il faut également envisager la diversité au niveau des fournisseurs d'énergie (pays ou régions d'origine des importations). Avoir plusieurs pays fournisseurs permet de se prémunir contre le risque politique dans une région donnée. Quelle que soit sa nature, la diversification de la fourniture d'énergie est censée réduire le risque de rupture d'approvisionnement. On montre dans ce rapport que si les dotations naturelles en énergies fossiles sont déterminantes, une stratégie affirmée de diversification des énergies et des pays fournisseurs par des pays faiblement dotés comme la France, l'Allemagne ou la Finlande leur permet d'être relativement bien positionnés. Il existe une réelle marge de manœuvre pour des pays résolument engagés dans une stratégie énergétique tournée vers les défis actuels et futurs (changement climatique, sécurité d'approvisionnement, indépendance énergétique).

Dans la théorie économique, l'**efficacité** fait référence à l'optimisation du processus d'allocation des ressources afin d'assurer, dans notre contexte, la sécurité d'approvisionnement énergétique. Plus précisément, cette notion d'efficacité prend en compte le progrès technologique et les investissements dans la production, la transformation et le transport d'énergie. Elle est également liée aux économies d'énergie réalisées par les utilisateurs finaux dans leur consommation d'énergie. L'intensité énergétique est souvent utilisée pour mesurer l'efficacité énergétique. La mesure brute de l'intensité énergétique doit être complétée par sa mesure nette, tenant compte du changement de la structure de l'activité économique, notamment vers des industries plus ou moins énergivores. Cette étude montre des résultats assez contrastés entre les pays, en fonction des secteurs d'activité structurant l'économie de chaque pays.

La **soutenabilité** s'inscrit sur le plus long terme. Elle fait d'une part référence au processus de convergence de l'offre et de la demande énergétique. Elle introduit d'autre part la notion de développement durable, relative à la question du changement climatique. Les résultats obtenus notamment en matière d'émissions de CO₂ sont étroitement corrélés aux niveaux de consommation énergétique par tête, mais également aux choix des pays de développer des énergies peu polluantes, comme l'énergie nucléaire pour la France ou les énergies renouvelables en Suède.

Concernant l'analyse des conséquences de la vulnérabilité, un pays vulnérable énergétiquement signifie d'une part, que ce pays ne sera pas en mesure de faire des choix de politique énergétique librement consentis, ou de les faire à un coût économique ou politique collectivement insupportable. Par ailleurs, être vulnérable signifie être soumis à la possibilité d'occurrence d'une crise ou d'un choc. Dans un contexte d'ouverture à la concurrence et de financiarisation des marchés énergétiques, les chocs énergétiques sont divers par nature. Ils peuvent être de nature exogène (hausse brutale et non anticipée des prix directs, ruptures non concertées de contrats d'approvisionnement). Ils peuvent être également de nature endogène, et liés à des mécanismes macroéconomiques (faiblesse des investissements visant à diversifier l'offre énergétique) ou microéconomiques (risques systémiques inhérents aux fragilités issues de la financiarisation et de l'ouverture à la concurrence).

La notion de risque supporté par les différents acteurs du marché est déterminante. Le risque peut se révéler par des inefficiences, des coûts d'ajustement. L'incertitude profonde dans laquelle on se trouve pour évaluer les prix intervient en premier lieu. Par ailleurs, la libéralisation tend à accentuer la logique d'endettement à court terme, augmentant du même coup la vulnérabilité des économies par rapport à un changement dans l'état de confiance, ou par rapport à un choc dans l'évaluation des risques de la part des investisseurs internationaux.

Le rôle des facteurs institutionnels doit également être envisagé, puisqu'ils peuvent agir dans le sens de plus ou moins de vulnérabilité. Par exemple, les directives européennes d'ouverture à la concurrence fragilisent le fonctionnement des marchés énergétiques, et semblent les rendre plus vulnérables en réduisant leur dimension temporelle. Toutefois, les règles prudentielles, les mécanismes d'ajustement émis par les organes de régulation permettent de réduire cette vulnérabilité. Par ailleurs, certaines contraintes institutionnelles, en particulier relatives aux quotas d'émissions, vont dans le sens d'une moindre vulnérabilité.

Nous débutons par une première section sur les dispositions institutionnelles, essentiellement d'origine communautaire, qui définissent le contexte des politiques énergétiques en Europe, en particulier ce qui relève de la libéralisation des marchés. Il faut s'intéresser à l'ouverture à la concurrence et ses effets attendus et observés, pour plusieurs raisons. D'une part, les pays ayant déjà libéralisé leur marché énergétique ont connu des crises d'approvisionnement (Californie) et il est important de déterminer si la libéralisation est la principale origine de la défaillance. D'autre part, l'ouverture à la concurrence a comme principal objectif la baisse des prix pour les usagers finaux. Là aussi, il est important de mesurer l'impact de la libéralisation, à la fois sur les prix et sur l'offre de services, sachant que la crédibilité des politiques énergétiques est engagée dans ce débat.

Nous envisageons dans une deuxième section un état des lieux énergétique, en matière d'approvisionnement, de production, et de dépendance énergétique des pays. Cet état des lieux permet de proposer une distinction des pays en fonction de leurs dotations naturelles en énergies fossiles, de leur choix de développer la filière nucléaire et/ou renouvelable.

La troisième section définit notre approche de la vulnérabilité énergétique à la base de la définition d'indicateurs de diversité, d'efficacité et de soutenabilité énergétique. Un tableau synthétique des indicateurs est présenté en annexe G.

La quatrième section présente une analyse comparée par pays des indicateurs de vulnérabilité énergétique (Europe des 15). La plupart des indicateurs, notamment relatifs à la diversité énergétique, ont nécessité des calculs préalables, dont certains sont présentés sous forme de tableaux en annexe (annexes A à F).

Plan du rapport

- 1. Le cadre institutionnel de la politique énergétique en Europe** p.18
 - 1.1. La libéralisation des marchés de l'énergie*
 - 1.2. La politique énergétique communautaire définie en 2007*
- 2. Un état des lieux énergétique de l'Europe des 15 (1990-2004)** p.29
 - 2.1. La situation énergétique de l'Europe des 15 et des 25*
 - 2.2. La situation énergétique des différents pays de l'Europe des 15*
 - 2.3. Synthèse de l'état des lieux de l'Europe des 15*
- 3. Une définition de la vulnérabilité et de ses indicateurs** p.81
 - 3.1. La littérature sur la vulnérabilité énergétique*
 - 3.2. Les indicateurs de diversité*
 - 3.3. L'efficacité énergétique*
 - 3.4. Les indicateurs de soutenabilité des choix énergétiques*
- 4. Analyse comparative des indicateurs de vulnérabilité par pays** p.110
 - 4.1. Analyse comparée de la diversité énergétique des pays de l'UE-15*
 - 4.2. Analyse comparée de la soutenabilité énergétique des pays de l'UE-15*
 - 4.3. Analyse comparée de l'efficacité énergétique des pays de l'UE-15*

1. Le cadre institutionnel de la politique énergétique en Europe

1.1. La libéralisation des marchés de l'énergie

1.2. La politique énergétique communautaire définie en 2007

1.1. La libéralisation des marchés de l'énergie

1.1.1. L'ouverture progressive des marchés énergétiques

Le contrôle de l'Etat dans l'industrie énergétique se renforce partout en Europe après la seconde guerre mondiale, pour répondre aux impératifs de reconstruction et d'indépendance nationale, ainsi qu'à certaines évolutions majeures, comme la substitution du gaz naturel au gaz manufacturé à partir des années 1950 et son essor rapide dans la consommation énergétique. Des missions d'intérêt général sont assignées en Europe aux opérateurs des secteurs de l'énergie, autour des principes de continuité de l'approvisionnement, d'adaptabilité du service, d'universalité et d'égalité².

Le choix dans certains pays d'un monopole public intégré, regroupant les activités de production, transport et distribution ou partiellement intégré, répond à l'objectif de mieux coordonner les investissements de production et de réseaux, d'assurer une plus grande fiabilité du service et de réagir rapidement à des déséquilibres entre offre et demande³. Il s'agit également d'opérer un contrôle sur les tarifs de l'énergie, le plus souvent par voie réglementaire. En effet, les industries de réseau présentent des coûts fixes importants, cette spécificité ayant longtemps justifié l'existence de monopoles.

Même si le progrès technologique peut limiter cette contrainte, les rendements d'échelle croissants ou d'envergure⁴ demeurent importants au niveau de nombreux segments de la chaîne. Du fait de la durée importante de construction des actifs de production, la fluidité du marché n'est pas totale, et les délais de réaction à l'évolution de la demande relativement longs. Par ailleurs, les opérateurs en situation de monopole ont pu dans le passé, lorsqu'ils ont été convenablement régulés (notamment dans le cas du secteur électrique

² A partir de ce socle commun, des préoccupations spécifiques émergent dans certains pays. La péréquation des tarifs électriques est censée corriger les écarts de coûts de distribution (dus aux différences de densité démographique entre zones d'habitation). Cette péréquation s'opère dans un cadre national (Italie, Espagne, Belgique), ou régional (Allemagne). En France, elle se traduit par une unicité du tarif hors taxes sur l'ensemble du territoire. On voit également émerger des impératifs dépassant les seules exigences de fourniture énergétique. En France notamment, ces missions englobent des objectifs de politique industrielle (recherche et développement), sociale (amélioration du statut des agents du secteur électrique et gazier) et d'aménagement du territoire (présence des services publics en zone rurale). D'autres obligations ont pu émerger, comme la préservation de l'environnement ou la participation des usagers (les chartes du service public en Grande-Bretagne). (ENA, 2002)

³ L'électricité, contrairement aux produits pétroliers et au gaz naturel, ne se stocke pas et il est nécessaire de disposer de capacités de production ou d'importation permettant de faire face à une augmentation non anticipée de la demande. Le risque de rupture d'approvisionnement dépend du niveau de la « marge excédentaire de capacité » relativement à la puissance de pointe appelée. Dans un système de monopole public intégré, cette marge est souvent confortable, le monopole public ayant pour préoccupation prioritaire d'éviter la défaillance. Cette stratégie est certes coûteuse puisque les capacités en réserve ne sont pas utilisées et c'est le consommateur final qui en supporte la charge (Percebois, 2006)

⁴ D'une manière générale, sur les marchés de l'énergie, on observe une course aux économies d'échelle jusqu'aux années 1970. Aux Etats-Unis, par exemple, la taille moyenne des centrales augmente de 5,5% dans l'entre deux guerres, de 17% après la seconde guerre mondiale, le plus fort de cette augmentation s'observant dans les années 1970 avec une croissance fulgurante de la taille des centrales nucléaires, au charbon et hydroélectriques (Dunsky, 2004).

français), consentir un effort important en matière de recherche et développement technologique, et planifier sur le long terme les investissements dans la production.

Dès la fin des années 1980, un processus de libéralisation s'engage, initiée par la Commission européenne. Les directives communautaires de 1996 et 1998 définissent des seuils d'ouverture de la demande d'électricité et de gaz, selon un processus par étapes⁵. Par rapport à la plupart de ses partenaires européens, la France a tardé à transposer ces directives. La directive électricité a ainsi été transposée par tous les Etats membres à temps, c'est-à-dire en février 1999, la France seulement en 2000, avec un an de retard sur le calendrier européen. Pour la directive gaz, un projet de loi de transposition, pourtant déposé sur le Bureau de l'Assemblée nationale, n'a été inscrit à l'ordre du jour qu'avec retard, impliquant la traduction de la France devant la Cour de Justice des Communautés européennes en mai 2001.

La loi du 10 février 2000 organise l'ouverture du marché français de l'électricité, en transposant la directive européenne de 1996 sur le marché intérieur de l'électricité. Elle crée le Réseau de Transport de l'Electricité (RTE), entité indépendante d'Electricité de France (EDF) sur le plan de la comptabilité et de la gestion, responsable de la réglementation et de la publication des tarifs de transport et de distribution. Cette loi a également créé la Commission de Régulation de l'Electricité (CRE), autorité administrative indépendante, chargée de réguler le secteur.

Avec un peu plus de deux ans de retard, la loi du 3 janvier 2003 relative aux marchés du gaz et de l'électricité et au service public de l'énergie transpose en droit français la directive européenne de 1998 relative au gaz (la transposition aurait dû intervenir avant le 10 août 2000). La CRE est chargée de la régulation du secteur gazier, afin d'administrer et de publier les tarifs de transport ; les opérateurs sont obligés de tenir des comptes dissociés pour leurs activités de production, transport et distribution. En début d'année 2002, les opérateurs gaziers français ont pu acquérir leur réseau, alors qu'ils n'étaient jusque là que concessionnaires (ce qui constituait une exception française).

L'ouverture à la concurrence a nécessité de prendre des dispositions en matière d'organisation industrielle⁶. L'organisation industrielle du secteur soit passe par un démantèlement du monopole historique en plusieurs entreprises concurrentes, soit autorise celui-ci à demeurer dans ses frontières historiques tout en encourageant la concurrence, soit rend la concurrence possible en levant seulement les obstacles juridiques qui interdisent l'arrivée de nouveaux opérateurs (théorie des marchés contestables). Les États-Unis et le Royaume-Uni, par exemple, ont choisi le démantèlement des industries en monopole, au moyen d'un découpage vertical, horizontal ou par zones géographiques.

Concernant la régulation du secteur, les pays anglo-saxons ont fait le choix de la privatisation des opérateurs, l'État ne pouvant par nature se comporter en actionnaire sur un marché ouvert. L'indépendance des opérateurs est assurée dans leur gestion, et des agences de régulation spécialisées et indépendantes sont mises en place pour promouvoir la concurrence et défendre les consommateurs. Jusqu'à présent, la France a choisi une voie différente, mettant en place des autorités de régulation indépendantes du gouvernement tout en conservant des entreprises publiques. En théorie, l'actionnaire et le régulateur sont donc séparés. Les conflits d'intérêt n'existent plus qu'entre l'État actionnaire et l'État prescripteur de service public.

⁵ La directive électricité prévoit ainsi une ouverture de 27% du marché en février 1997, de 30% en février 2000 et de 35% en février 2003. La directive gaz annonce quant à elle une ouverture de 20% du marché en août 2000, de 28% en août 2003 et de 33% du marché en août 2008 (Site du Sénat).

⁶ Voir notamment « L'ouverture à la concurrence », article du bureau *Économie des réseaux, de la direction de la Prévision et de l'analyse économique*, avril 2003

Concernant l'ouverture du capital, les pays anglo-saxons ont choisi le plus souvent une privatisation complète ; l'Etat se désengage totalement de la gestion des opérateurs, se contentant de réguler le secteur et laissant au marché le soin de restructurer les opérateurs. Dans les autres pays, la privatisation passe généralement par une étape intermédiaire, l'ouverture partielle du capital. Dans ce cas, même si l'État reste l'actionnaire majoritaire, cette ouverture partielle oblige les groupes à respecter les règles de marché (croissance du chiffre d'affaires et des résultats, affichage d'une bonne rentabilité, ratio d'endettement, stratégie de développement, etc.)⁷.

1.1.2. Les enjeux liés à l'ouverture

L'intérêt de la concurrence est visible principalement à deux niveaux : celui du niveau des prix et de la qualité du service. La concurrence incite théoriquement les entreprises à identifier leurs inefficacités et chercher à les réduire, en améliorant la qualité de service et en baissant leurs coûts de production⁸. Au-delà de ces deux objectifs principaux, la multiplication des acteurs était censée apporter une plus grande sécurité d'approvisionnement ; l'émergence de marchés rémunérateurs devait assurer un financement par des fonds privés des infrastructures coûteuses de ce secteur.

L'ouverture de certains segments du marché de l'électricité a entraîné une baisse effective des prix, comme en témoigne la baisse des prix pour les clients éligibles en France, et ailleurs en Europe. La libéralisation a également permis de diversifier l'offre par des actions de différenciation en fonction des types de clientèle (modulation, tarification, terme des contrats, etc.). Dans certains cas, le foisonnement des offres a pu augmenter les coûts de transaction, mais le bilan apparaît globalement positif pour les consommateurs finaux. La concurrence oblige enfin les opérateurs à innover constamment, afin de satisfaire la clientèle, conquérir des parts de marché ou augmenter leur taille sur le marché.

Comme le note Dunsky (2004), sur le marché de gros du secteur de l'électricité, on a pu observer un peu partout dans les pays industrialisés une ouverture progressive du marché de la production (le transport et la distribution conservant encore une structure monopolistique, mais en train d'évoluer fortement). Cette ouverture est liée à la nature des technologies de production (économies de gamme et techniques de fabrication en ligne qui remplacent les économies d'échelle des monopoles naturels). Trois étapes peuvent être observées dans cette ouverture progressive. Tout d'abord, il y a l'obligation faite aux monopoles verticalement intégrés de se transformer en monopsones (faire appel à des producteurs tiers par des appels d'offre pour des contrats à long terme). Dans un second temps, des bourses en temps réels et des centrales marchandes sont mises en place. Enfin, on assiste à la mise en œuvre progressive d'une autoproduction par des unités décentralisées. Au niveau de la vente de détail, il y a l'ouverture de marché de niches (énergie verte, fiabilité, stabilisation des prix) où des producteurs spécialisés offrent des produits et services

⁷ Ces indicateurs servent de référence aux agences de notation (Moody's, S&P, Fitch), permettant aux entreprises de se financer. Lors de l'émission d'obligations par exemple, la prime à payer par rapport au taux sans risque est d'autant plus élevée que la note est faible, d'où la nécessité, même pour un groupe encore public, de respecter certaines exigences du marché.

⁸ Un paramètre important dans la définition du processus d'ouverture à la concurrence est le niveau initial de la qualité des services publics offerts au consommateur final. En France, la qualité du service et le prix modéré de l'énergie peuvent limiter les gains directs résultant de l'ouverture. Toutefois, les clients professionnels sont beaucoup plus sensibles aux gains relatifs au prix et à la qualité des consommations intermédiaires issus de la concurrence. Ils vont répercuter les gains de productivité dans l'économie avec des gains indirects pour les ménages, pouvant compenser les pertes directes éventuelles liées à la hausse des prix pour les consommateurs finaux.

hautement valorisés par une minorité de clients. Ces marchés deviennent plus matures et enclenchent peu à peu un cycle d'économies d'échelle et de réduction de coût.

1.1.3. Le bilan de l'ouverture pour les marchés de l'électricité et du gaz

A partir des expériences récentes, il est intéressant d'observer la réalité des effets attendus de l'ouverture, essentiellement la baisse des prix et l'amélioration de la qualité de service. Il faut évaluer d'une part le degré d'ouverture au niveau de la fourniture d'énergie (nouveaux entrants)⁹, d'autre part l'impact de la libéralisation pour les utilisateurs finaux (clients éligibles et résidentiels), en termes de prix et de qualité de l'offre de services, à la fois pour les secteurs du gaz et de l'électricité¹⁰.

1.1.3.1. Le cas de l'électricité

En comparaison de ses partenaires européens, l'ouverture du marché de l'électricité en France en 2003 n'était critiquable qu'au regard du Royaume Uni et des pays scandinaves (Suède, Norvège, Danemark). Son marché est apparu aussi ouvert que celui de l'Allemagne (où l'absence de régulateur et les tarifs d'accès au réseau négociés ont fait qu'aucun opérateur étranger ne pouvait pénétrer le marché) ou de l'Espagne (où les parts de marché des compagnies dominantes n'ont quasiment pas évolué depuis l'ouverture).

Les effets de la libéralisation sur les prix pour les clients éligibles en France montrent une continuité du phénomène de baisse des prix observé à partir de 1996 ; entre 1999 et 2001, la baisse globale du prix de l'électricité pour les clients éligibles atteint -20 % selon la Commission de Régulation de l'Electricité (CRE). En 2001 et 2002, la concurrence a permis une relative stabilité du prix, malgré la hausse importante du prix du pétrole.

Dans les pays où l'ouverture des marchés est complète (Royaume Uni, Allemagne, Autriche, Finlande, Suède, Pays Bas), on peut constater l'effet de la libéralisation pour les clients résidentiels, en termes de prix et d'offre de services. L'étude menée par Capgemini (2007) est intéressante car elle observe le comportement des marchés où le consommateur dispose du choix de son fournisseur depuis maintenant plusieurs années, à travers les expériences du Royaume Uni (1998-1999), de la Suède (1999), et des Pays Bas (2001-2004). Pour chacun de ces pays, sont examinés le comportement des consommateurs sur les premières années de fonctionnement du marché concurrentiel, celui des opérateurs/fournisseurs d'énergie et les nouvelles offres qu'ils ont développées.

⁹ Un premier ratio de mesure de la concentration du marché est la part de marché respective des entreprises en concurrence sur le marché. Une position dominante existe si une entreprise dispose d'une part de marché supérieure à 33%, si trois entreprises disposent d'une part de marché cumulée de 50%, si cinq entreprises représentent 2/3 des parts de marché. Le second ratio est l'indice HHI (Herfindahl-Hirschman Index), qui prend en compte l'importance relative des parts de marché des entreprises en concurrence sur le marché. Il est obtenu en sommant les différentes parts de marché élevées au carré. Selon le Département de la Justice américain, un marché dont le HHI est inférieur à 1000 points n'est pas concentré ; le marché est modérément concentré lorsque le HHI se situe entre 1000 et 1800 points ; au-delà, le degré de concentration du marché est élevé. Des transactions qui augmentent le HHI de plus de 100 points sur un marché déjà concentré sont considérées comme préoccupantes. Voir notamment "Power Generation Market Concentration in Europe 1996-2000. An Empirical Analysis" Öko-Institut, 2002. L'étude montre l'évolution du degré de concentration de différents pays d'Europe entre 1996 et 2000 au regard de ces deux ratios.

¹⁰ L'échéance du 1^{er} juillet 2007 marque l'ouverture à la concurrence des marchés du gaz et de l'électricité pour les clients résidentiels en France. C'est l'aboutissement d'un long processus engagé par la Commission européenne de Bruxelles dès la fin des années 90. Un petit nombre de pays, dont la France mais aussi l'Italie, la Grèce, les Pays Baltes, et certains pays d'Europe de l'Est, ont souhaité repousser au plus tard cette échéance, les autres pays européens ayant déjà franchi cette étape au cours des dernières années.

Sur les trois marchés étudiés, l'ouverture aux particuliers s'est traduite par la concurrence entre plusieurs opérateurs historiques locaux, associée à l'arrivée de nouveaux entrants sur le marché, un grand nombre d'entre eux ayant une simple activité de commercialisation mais ne disposant pas de capacité de production propre. Par exemple, aux Pays-Bas, cinq nouveaux entrants se sont développés pendant les premières années de la libéralisation, chacun constituant des portefeuilles de 100 à 250 000 clients et captant au total environ 12 à 15% de parts de marché des opérateurs historiques. Après quelques années de fonctionnement, le bilan est plus mitigé. Le plus important des nouveaux entrants (Oxxio) a été racheté en 2005 par l'opérateur anglais Centrica et dispose aujourd'hui d'un portefeuille d'environ 700 000 clients aux Pays-Bas, soit une part de marché d'environ 10%. D'autres entrants, comme EnergyXS, ont fait faillite. Par ailleurs, si les deux plus gros opérateurs historiques (Essent et Nuon) concrétisent leur fusion annoncée depuis 2007, ils maîtriseraient près de 2/3 du marché de la fourniture (tous segments de marchés confondus). Sur les marchés suédois et allemands, les fournisseurs alternatifs, dépourvus de capacité de production compétitive ou dépourvus d'un adossement suffisant, survivent difficilement au bout de plusieurs années. Seuls subsistent ceux qui se sont adossés à de grands opérateurs (comme YelloStröm en Allemagne, filiale de EnBW et affichant plus d'un million de clients, ou Plusenergi en Suède, filiale de Vattenfall, ayant un portefeuille de plus de 400 000 clients) ou ceux, comme Oxxio aux Pays-Bas, qui ont été rachetés par des groupes étrangers.

Concernant la baisse des prix et le taux de mobilité¹¹, au Royaume Uni comme en Suède, l'ouverture aux particuliers s'est déroulée dans un contexte d'énergie bon marché, où la tendance générale des prix de gros était à la baisse¹². Les opérateurs ont construit une politique marketing basée sur une baisse du prix (baisse moyenne de 8 à 15% de la facture énergétique), à l'origine d'une mobilité des clients très importante sur les trois premières années de libre concurrence (34% pour l'électricité au Royaume uni et 18% pour la Suède, ce taux étant passé respectivement à 43% et 29% six ans après l'ouverture). Aux Pays-Bas, la politique de subvention du gouvernement en faveur des fournisseurs d'énergie verte entre 2001 et 2004 est à l'origine de la très grande majorité des mouvements des consommateurs. Fin 2004, 40% des foyers hollandais avaient opté pour une offre « électricité verte », 82% ayant simplement choisi de basculer sur l'offre verte de leur fournisseur historique. Le nombre de foyers ayant changé de fournisseur sur les 2 premières années de libre concurrence, suite à l'ouverture complète du marché en juillet 2004, a représenté 11% pour l'électricité et 5% pour le gaz (mesure cumulée).

La facture énergétique (électricité, gaz) du consommateur éligible dans la plupart des pays européens est en progression constante ces dernières années. La volatilité des prix ne doit pas être imputée à la libéralisation des marchés, car elle s'explique par des causes multiples. L'augmentation des prix du pétrole et du gaz avec celle des prix de gros de l'électricité en Europe, la hausse des prix des certificats de droits d'émission de CO₂ en 2005 et début 2006, enfin le manque d'investissements dans les infrastructures électriques et gazières, ont pu créer des situations de forte tension entre la demande et l'offre.

¹¹ Le taux de mobilité calcule le total des « mouvements » d'une population de consommateurs en termes de changement de fourniture. Il intègre donc le nombre de fois où les consommateurs ont changé de fournisseurs, ceux ayant abandonné leur opérateur historique puis étant revenu. Les chiffres peuvent même parfois être établis sur la base des consommateurs ayant changé de contrat, bien que n'ayant pas changé de fournisseur.

¹² L'époque à laquelle les marchés ont été libéralisés, au même moment pour le Royaume Uni et la Suède (1999), plus récemment pour les Pays-Bas (2001 et 2004), est un facteur essentiel à prendre en compte, puisque la fin des années 90 se caractérisait par une énergie bon marché, jusqu'au renversement de tendance de 2003-2004.

Le maintien en France de tarifs réglementés fixés par l'Etat à des niveaux relativement bas ne crée pas les conditions d'une vraie concurrence sur le marché de l'énergie. Dans ces conditions, il faut supposer que peu de consommateurs français vont changer de fournisseur à partir du 1^{er} juillet 2007. Les opérateurs historiques ont préparé depuis longtemps cette échéance importante en changeant notamment leurs systèmes de relation clientèle et de facturation. Ils se sont aussi préparés techniquement à la séparation de la distribution et de la vente (« unbundling ») pour orienter le consommateur. A plus long terme, les atouts d'Electricité de France et Gaz de France pour résister à la concurrence dans le secteur résidentiel sont importants. En premier lieu, c'est un coût de production et de vente du kWh particulièrement compétitif en Europe, pour EDF grâce à son parc nucléaire. Il faut aussi mentionner la qualité de service en France et les efforts marketing importants développés par ces opérateurs ces deux dernières années vis-à-vis des consommateurs professionnels. Seules des offres combinant une réelle innovation avec des prix compétitifs et transparents pourront, à terme, faire progresser la mobilité des consommateurs français.

Pour améliorer la fluidité des échanges d'information entre fournisseurs et distributeurs, des pays comme la Suède mettent actuellement en œuvre une plate forme baptisée EMIX (Energy Market Information Exchange) destinée à fiabiliser et automatiser le processus de changement de fournisseurs pour les foyers suédois. En matière d'information du consommateur, le Royaume Uni et la Suède se sont dotés rapidement d'un organisme indépendant permettant de comparer les offres disponibles sur leur région. Cette idée a été reprise en France par la Commission de Régulation de l'Energie qui a ouvert en mai 2007 un site¹³ destiné à informer les particuliers sur leurs démarches et leurs droits dans le cadre de l'ouverture totale des marchés de l'énergie au 1^{er} juillet 2007. Notons toutefois que lorsque les consommateurs étaient interrogés sur leur capacité à comparer le prix entre opérateurs, quelques années après l'ouverture effective du marché, 70% des britanniques répondaient qu'ils pouvaient le faire aisément, mais seulement 40% des Suédois partageaient cet avis (on recensait à cette époque plus de 300 offres « électricité », proposées par près de 70 fournisseurs en Suède).

1.1.3.2. Le cas du gaz

L'ouverture à la concurrence du marché français, engagée dès le 10 août 2000, s'illustre au début de l'année 2002 par un pourcentage de 17% de clients éligibles ayant changé de fournisseur (l'ensemble de ces clients éligibles représentant plus de 150 clients finaux, soit 20% du marché national). Le niveau de prix de la prestation de transport pratiquée par les différents opérateurs de transport (GDF, CFM et GSO) se comparait favorablement aux tarifs d'accès que pratiquent les gestionnaires de réseaux dans d'autres États membres. Il a d'ailleurs récemment évolué d'un tarif à la distance vers un tarif par grandes zones géographiques (8 zones), plus favorable aux opérateurs étrangers vendant du gaz en France. Le sommet de Barcelone de mars 2002 a validé une ouverture complète des marchés, hors clients domestiques, dès 2004. En novembre de la même année, il a été décidé l'ouverture totale du marché (particuliers inclus) au plus tard en juillet 2007. Parallèlement, l'ouverture du capital de l'opérateur public GDF a été programmée.

Au cours du processus de libéralisation, les critiques adressées à la France concernant son faible taux d'ouverture et la position dominante de son monopole historique ont pu être également adressées à d'autres pays, comme l'Allemagne où l'absence de régulateur et de tarifs d'accès au réseau négocié empêchaient les opérateurs étrangers de pénétrer le marché.

¹³ www.energie-info.fr

Par ailleurs, les enjeux de la libéralisation sont différents d'un pays à l'autre. Le Royaume-Uni est producteur de gaz, la France étant un pays importateur où la concurrence est forcément plus limitée car une part importante du coût n'est pas directement maîtrisée.

Dans les pays où l'ouverture des marchés a été réalisée le plus tôt (Royaume Uni, Allemagne, Autriche), les prix aux clients résidentiels n'ont pas connu de baisse vraiment significative par rapport aux autres pays. A l'exception du Royaume-Uni, la proportion de clients ayant changé de fournisseur reste limitée. Comme pour l'électricité, les facteurs à l'origine d'une baisse des prix du gaz sont difficilement isolables. L'envolée des prix du pétrole est un facteur déterminant de la hausse des prix du gaz.

Du fait que peu de pays de l'Union sont des producteurs et qu'une part croissante du gaz est importée, une part importante du prix final du gaz se définit en dehors du champ de la libéralisation. Le fait de voir se constituer des opérateurs puissants est susceptible d'augmenter leur pouvoir de négociation vis-à-vis des producteurs étrangers. Toutefois, dans la mesure où les fournisseurs de gaz sont en nombre plus restreint que pour le pétrole, la probabilité de voir se constituer des ententes est plus élevée et constitue un risque de hausse des prix du gaz livré en France ou en Europe. La libéralisation devrait néanmoins jouer favorablement sur le restant des coûts (entre 40 et 50%). Enfin, un enjeu central du secteur gazier face à l'ouverture des marchés est le développement des infrastructures de transport (approvisionnements extérieurs par gazoduc ou méthanier, échanges transfrontaliers et réseau national) qui, au-delà des efforts de coopération, jouera sur la sécurisation de l'approvisionnement à long terme.

1.2. La politique énergétique communautaire définie en 2007

1.2.1. Les objectifs fondamentaux

La communication de la Commission européenne, en date du 10 janvier 2007¹⁴, évoque la nécessaire transformation de l'économie européenne, l'avènement d'une « nouvelle révolution industrielle, qui accélère la transition vers une croissance à faible taux d'émission de carbone et produit, sur plusieurs années, une augmentation spectaculaire de la quantité d'énergie locale à faible taux d'émission que nous produisons et utilisons ». Dans sa communication, la Commission définit les contours d'une politique de l'énergie pour l'Europe. Cette communication indique tout à la fois les défis énergétiques qui s'imposent aux différents acteurs d'un marché résolument concurrentiel, et l'élaboration d'un plan d'action conforme aux objectifs prédéfinis.

Ces orientations s'inscrivent dans un contexte de dépendance accrue vis-à-vis des importations et d'augmentation des prix de l'énergie. Il est nécessaire d'envisager une approche commune de l'énergie à l'échelle communautaire, dont l'intérêt était déjà au centre des débats lors de la signature du traité du charbon et de l'acier en 1952 et celle du traité Euratom en 1957. Trois orientations connexes sont envisagées afin de fournir aux consommateurs une énergie durable, sûre et concurrentielle :

(1) Lutter contre le réchauffement climatique, par la réduction des émissions de gaz à effet de serre (intégrer la dimension de développement durable à la politique énergétique de l'Europe)

En première place, l'objectif de **durabilité** est un défi proposé à la politique énergétique de l'Europe et des Etats membres, au regard de l'urgence des mesures à

¹⁴ Commission européenne (2007), « Une politique de l'énergie pour l'Europe », Communication de la Commission au Conseil Européen et au Parlement Européen, Luxembourg

concevoir et mettre en commun pour lutter contre le changement climatique. L'énergie est responsable de 80% des émissions de gaz à effet de serre. Le maintien des politiques énergétiques et des niveaux d'émission actuels ne permettra pas de répondre à l'objectif fixé de limiter l'augmentation de la température mondiale à 2°C par rapport aux niveaux préindustriels. Sans modification de ces politiques, les émissions européennes de CO₂¹⁵ augmenteront de 5% d'ici 2030, alors que l'UE s'est engagée dans les négociations internationales à réduire au mieux de 30%, au moins de 20%, ses émissions de gaz à effet de serre d'ici 2020 (par rapport aux niveaux de 1990).

(2) Réduire la vulnérabilité énergétique de l'Union européenne vis-à-vis de l'extérieur (assurer la **sécurité des approvisionnements** en hydrocarbures de l'Europe)

Selon la Commission, la dépendance de l'Union européenne vis-à-vis des importations d'énergie s'élève actuellement à 50% de la consommation d'énergie, et devrait atteindre 65% en 2030 sans une nouvelle orientation de la politique communautaire (pour le gaz, de 57% actuellement à 84% en 2030, pour le pétrole, de 82% à 93%). L'Agence internationale de l'énergie (AIE)¹⁶ prévoit, d'une part, une augmentation de plus de 40% de la demande mondiale de pétrole d'ici 2030 ; d'autre part, elle fait observer l'incertitude concernant la capacité et la volonté des grands producteurs de pétrole et de gaz d'intensifier leurs investissements pour répondre à l'augmentation de la demande mondiale. Face à ce risque de rupture dans l'approvisionnement énergétique, il faut envisager des mécanismes de solidarité entre États membres (notamment par le développement des interconnexions) et pallier les situations d'un fournisseur unique (ce qui est le cas de plusieurs États membres concernant leur approvisionnement en gaz).

(3) Assurer le développement d'un marché intérieur de l'énergie concurrentiel (promouvoir la **compétitivité** pour favoriser l'investissement et l'innovation dans le domaine énergétique avec des répercussions à long terme sur l'emploi et la croissance)

L'établissement d'un marché intérieur de l'énergie est seul à même d'assurer des prix de l'énergie équitables, concurrentiels et prévisibles pour favoriser les investissements nécessaires à long terme. L'Union européenne est en effet de plus en plus exposée aux effets de la volatilité des prix et des augmentations de prix sur les marchés internationaux de l'énergie. Dans la perspective de prix du pétrole atteignant 100 dollars le baril en 2030 (au cours actuel), la Communauté estime que les importations d'énergie de l'UE-27 s'élèveraient à environ 170 milliards d'euros, soit une augmentation annuelle de 350 euros par habitant. Ce transfert de richesse participerait pour une très faible part à des créations d'emplois dans l'Union, et représenterait un coût pour la collectivité. L'existence de prix élevés empêche ainsi les particuliers de profiter pleinement des avantages de la libéralisation de l'énergie.

L'enjeu de marché pour l'Europe se situe au niveau des technologies renouvelables et de la recherche d'efficacité énergétique ; il s'agit de développer une économie de la connaissance dans l'Union sur ce domaine, qui sera source d'innovation, d'investissements et créatrice d'emplois. L'Union européenne, déjà leader mondial dans le domaine des technologies renouvelables, peut dominer le marché mondial des technologies énergétiques à faible taux d'émission de carbone, où les perspectives de croissance sont considérables. Dans le secteur de l'énergie éolienne, par exemple, les entreprises européennes détiennent déjà 60% du marché mondial. L'instauration d'un marché des émissions efficace est un enjeu de la politique communautaire de réduction des effets de l'énergie sur le climat.

¹⁵ qui représentent 80% des émissions de gaz à effet de serre de l'Union européenne.

¹⁶ 2006 World Energy Outlook

1.2.2. Les contraintes sur la sécurité d'approvisionnement

La sécurité d'approvisionnement est devenue un objectif central des pays industrialisés, que l'on mesure à partir des risques diversifiés qui pèsent potentiellement sur les approvisionnements. Ces risques sont de différentes natures. Il peut s'agir d'une rupture physique des approvisionnements, d'un choc sur les prix, etc. Pour y répondre, différentes mesures peuvent être préconisées.

Il peut s'agir de développer des filières ou des sources énergétiques locales (nucléaire ou énergies renouvelables), de diversifier le bouquet énergétique et les fournisseurs d'énergie, d'organiser la coopération internationale et l'interdépendance des producteurs et des consommateurs, de développer les contrats de fourniture à long terme. C'est également les mesures pour améliorer l'efficacité énergétique afin de consommer moins et renforcer son indépendance énergétique, la constitution de stocks pour les énergies qui le permettent, soit directement chez les consommateurs finaux, soit de manière collective et organisée (traiter la question des marges excédentaires de capacité), ou encore le développement des équipements multi-énergies chez les consommateurs (notamment les industriels), pour qui l'énergie est un facteur de production essentiel.

La théorie économique s'attache à montrer que l'ouverture des marchés apporte la sécurité d'approvisionnement, en augmentant le nombre de fournisseurs potentiels. Toutefois, cette affirmation repose sur la confusion qui existe entre l'ouverture des marchés en aval (les acheteurs) et l'ouverture en amont (les fournisseurs). Dans le cas du gaz, l'ouverture des marchés permet aux clients de choisir leur fournisseur, mais l'offre reste concentrée dans les mains d'un petit nombre d'acteurs sur le marché. Les perspectives de la dépendance gazière de l'Union européenne sont relativement pessimistes (40% en 1999, 50% en 2010 et 70% en 2020). Les principaux fournisseurs de gaz à l'Europe (la Russie, l'Afrique du Nord, la Norvège) ne donnent pas de signe de leur volonté d'assouplir leur organisation monopolistique (Gasprom, Sonatrach ou GFU), et annoncent même la possibilité d'ententes. A l'intérieur de l'Union, les producteurs de gaz sont peu nombreux et très attachés à leurs droits exclusifs lorsqu'ils en disposent.

Autrement dit, l'ouverture des marchés gaziers consiste essentiellement à atomiser le marché des acheteurs en laissant inchangé le marché régional oligopolistique des vendeurs. Le fait que la libéralisation puisse accroître la sécurité d'approvisionnement repose sur la réalité de l'ajustement global de l'offre et de la demande. Il faut avoir à l'esprit que si la libéralisation des marchés s'inscrit plutôt dans une logique de court terme, la sécurité d'approvisionnement s'envisage sur le long terme. L'adéquation entre ces deux objectifs ne va pas de soi et doit être soumise au regard de l'ensemble des acteurs du marché.

Concernant la diversification des fournisseurs, la défaillance éventuelle d'un fournisseur éloigné géographiquement peut être suppléée par les mécanismes de régulation existant sur le réseau, dans le cas de l'existence d'une capacité disponible. Le développement des interconnexions est un objectif central de la politique énergétique en Europe, afin de répondre au risque de défaillance. La libéralisation des marchés peut garantir l'ajustement de l'offre à la demande, en établissant une certaine flexibilité dans les capacités de stockage et les interconnexions.

Concernant la diversification des sources d'énergie, on peut observer certaines déficiences ou insuffisances du marché¹⁷. La diversification des technologies de production électrique d'un pays permet d'améliorer la sécurité d'approvisionnement et de réduire les effets négatifs des variations des prix des hydrocarbures. A partir des théories du portefeuille,

¹⁷ Roques et al. (2005)

qui permettent de mesurer le degré de diversification optimal pour un pays ou un électricien (valeur de couverture d'un investissement tenant compte des incertitudes de coûts), Roques et al. (2005) montrent qu'une forte corrélation entre les prix du gaz et de l'électricité réduit les incitations à la diversification des producteurs privés. Ceci remet en cause la capacité d'un marché libéralisé à promouvoir une certaine diversité technologique, sous certaines conditions ; l'intervention d'un régulateur peut se justifier lorsque le marché est soumis à ce type de défaillances.

On peut souligner que la diversification des sources peut être coûteuse, en considérant que diversifier revient à renoncer à certains avantages en termes d'économies d'échelle et de standardisation. Ceci peut être un autre argument montrant que le marché n'est pas nécessairement en mesure d'inciter à la diversification et justifier l'intervention d'un régulateur.

Une conséquence de l'ouverture à la concurrence est d'inciter chaque producteur à limiter les capacités installées pour éviter d'exacerber une concurrence qui abaisse les prix vers les coûts de court terme¹⁸. Les entreprises ont en effet collectivement intérêt à une situation de sous capacité, dans laquelle les prix sont élevés, plutôt qu'à une situation de surcapacité où les prix tendent vers les coûts marginaux de court terme. Elles investissent une fois révélée l'information sur la situation de sous capacité. C'est le mécanisme observé notamment lors de la crise électrique en Californie, et dans une moindre mesure celle survenue dans certaines régions d'Espagne. La crise de Railtrack au Royaume-Uni est également révélatrice de la difficulté d'inciter une entreprise privée à investir dans des infrastructures lourdes qu'il n'est possible d'amortir qu'à long terme. Par conséquent, certains pays ont accompagné le processus de libéralisation de programmations pluriannuelles des investissements (notamment dans le secteur de l'électricité), avec des mécanismes où l'État peut lancer des appels d'offres visant à anticiper les risques de sous capacité. Ce type de mécanisme est cependant difficilement envisageable à l'échelle européenne, au vu des difficultés à coordonner les politiques de chaque pays.

Il est évident que le risque de défaillance du système doit être posé dans un espace libéralisé, et notamment la question de la « marge excédentaire de capacité » qui incombait jusque là au monopole public intégré. Dans le cas de l'électricité, énergie qui ne se stocke pas, le risque de rupture d'approvisionnement dépend du niveau de cette marge excédentaire de capacité relativement à la puissance de pointe appelée. Dans un système ouvert à la concurrence, où les entreprises ont intérêt à être en sous-capacité, les risques de défaillance sont plus grands¹⁹.

Sur le plan environnemental, l'instauration de quotas dans le cadre d'un marché des émissions est un enjeu central de la politique énergétique communautaire. Il est intéressant de confronter les expériences des pays où ce système s'est développé dans le passé, et d'en retirer les informations nécessaires pour la mise en place d'un système efficace (notamment le mécanisme de détermination des quotas d'émission). Par ailleurs, il faut envisager si ce type de mécanisme va dans le sens d'une plus grande diversité des sources d'approvisionnement énergétique.

La contribution de Grubb et al. (2005) est intéressante sur ce point. A partir des 3 scénarios du gouvernement anglais inscrits dans le Livre Blanc de 2003 (« business as

¹⁸ Voir notamment « L'ouverture à la concurrence », article du bureau *Économie des réseaux, de la direction de la Prévision et de l'analyse économique*, avril 2003

¹⁹ Voir sur ce point Percebois (2006), et la notion de coût de défaillance.

usual », « high environmental concern » et « low environmental concern »), les auteurs décrivent l'évolution de la diversité énergétique en Angleterre à l'horizon 2050. Ils montrent que la diversité décroît dans les 3 scénarios envisagés (lié à l'augmentation de la part du gaz et la diminution du nucléaire). La condition pour que la diversité augmente est que le gouvernement fixe des objectifs très contraignants de réduction des émissions polluantes. La présence d'un régulateur est nécessaire pour que la mise en place d'un marché libéralisé n'aille pas à l'encontre même des enjeux énergétiques de la politique communautaire.

2. Un état des lieux énergétique de l'Europe des 15 sur la période 1990-2004²⁰

2.1. La situation énergétique de l'Europe des 15 et des 25

2.2. La situation énergétique des pays de l'Europe des 15

2.3. Synthèse de l'état des lieux de l'Europe des 15

L'objectif central de la politique énergétique européenne est un approvisionnement en énergie à la fois durable, compétitif et sûr. Le plan d'action, établi en janvier 2007 par la Commission, est destiné à relever les principaux défis énergétiques auxquels l'Europe se trouve confrontée. Un bouquet énergétique diversifié est une des principales orientations devant permettre d'améliorer la sécurité d'approvisionnement. L'intérêt de proposer un état des lieux énergétique de l'Europe des 15 est de définir les principales données énergétiques des candidats européens à une moindre vulnérabilité, données dont certaines seront utiles au calcul des indicateurs de vulnérabilité²¹.

2.1. La situation énergétique de l'Europe des 15 et des 25

2.1.1. Les indicateurs utilisés

Les indicateurs présentés sont calculés pour le cas de l'Europe des 15 et des 25 dans leur ensemble, et pour celui des différents pays de l'Europe des 15.

- l'approvisionnement en énergie primaire
- la production d'énergie primaire
- la production d'électricité
- les importations nettes
- la dépendance énergétique

L'approvisionnement en énergie primaire (*gross inland consumption*) correspond à la quantité d'énergies primaires consommée à l'intérieur des frontières d'un pays. Il est calculé en ajoutant la production primaire, les produits récupérés, les importations et les variations de stock et en retranchant les exportations et les combustibles de soude²².

La production intérieure comprend la production d'énergie primaire (*energy production*) et la production d'électricité (*electricity generation*).

Les importations nettes (*net energy imports*) sont calculées en ajoutant les quantités d'énergies primaires et d'électricité extraites et produites à l'étranger.

Le taux de dépendance énergétique (*import dependency*) est le ratio des importations nettes sur la consommation intérieure brute d'énergie primaire. Il peut être calculé en volume et en valeur. Il indique le degré selon lequel un pays dépend des importations pour répondre à ses besoins en termes d'énergie. La dépendance est calculée par

²⁰ L'année de base retenue est 1990, en relation avec le Protocole de Kyoto, dont les signataires se sont engagés à réduire les émissions de gaz à effet de serre de 5,2% sur la période 2008-2012 par rapport à l'année de base 1990.

²¹ Les données sont issues des tableaux d'Eurostat et du *Panorama of Energy*, Eurostat, 2007

²² Quantités fournies aux navires de mer.

le ratio : importations nettes / (approvisionnement en énergie primaire + combustibles de soude).

Son intérêt est souvent contesté parce qu'il agrège des formes d'énergie trop diversifiées. Ainsi la valeur de près de 50% aujourd'hui atteinte par la France (à partir des conventions d'élaboration des bilans énergétiques) est significative comparée aux 23% de 1973. Elle n'illustre pas nécessairement les efforts réalisés dans le cadre du programme nucléaire et dans la recherche d'économies d'énergie. Ce ratio permet toutefois de donner un premier aperçu du poids des importations par rapport à la production nationale.

2.1.2. La situation énergétique de l'Europe des 15 et des 25

Les tableaux qui suivent serviront de point de référence pour l'analyse des différents pays.

2.1.2.1. L'approvisionnement en énergies primaires

Tableau 1.EU15 : Approvisionnement en énergies primaires de l'Europe des 15 entre 1990 et 2004

	1990	1999	2004
<i>Combustibles solides</i>	23%	14%	15%
<i>Pétrole</i>	41%	41%	39%
<i>Gaz</i>	17%	23%	24%
<i>Nucléaire</i>	14%	16%	15%
<i>Renouvelables</i>	5%	6%	6%
Total	100%	100%	100%

Tableau 1.EU25 : Approvisionnement en énergies primaires de l'Europe des 25 entre 1990 et 2004

	1990	1999	2004
<i>Combustibles solides</i>	28%	18%	18%
<i>Pétrole</i>	38%	39%	37%
<i>Gaz</i>	17%	22%	24%
<i>Nucléaire</i>	13%	14%	15%
<i>Renouvelables</i>	4%	5%	6%
Total	100%	100%	100%

En termes d'approvisionnement, l'élargissement ne modifie pas sensiblement les parts relatives des différentes énergies primaires. Les combustibles solides voient leur part augmenter avec cet élargissement, la part qui diminue corrélativement étant celle du pétrole.

2.1.2.2. La production d'énergies primaires

Tableau 2.EU15 : Production d'énergies primaires de l'Europe des 15 entre 1990 et 2004

	1990	1998	2004
<i>Combustibles solides</i>	30%	15%	12%
<i>Pétrole</i>	17%	21%	18%
<i>Gaz</i>	19%	24%	25%
<i>Nucléaire</i>	26%	29%	31%
<i>Renouvelables</i>	9%	11%	13%
Production/approvisionnement	54%	53%	49%

Tableau 2.EU25 : Production d'énergies primaires de l'Europe des 25 entre 1990 et 2004

	1990	1998	2004
<i>Combustibles solides</i>	40%	30%	25%
<i>Pétrole</i>	14%	18%	18%
<i>Gaz</i>	16%	19%	21%
<i>Nucléaire</i>	23%	24%	25%
<i>Renouvelables</i>	8%	9%	10%
Production/approvisionnement	57%	55%	51%

L'élargissement à 25 augmente très sensiblement la part des combustibles solides produite dans l'Union européenne, améliorant le ratio production/approvisionnement. Pour toutes les autres énergies primaires, l'élargissement tend à faire diminuer leur proportion relative.

2.1.2.3. La production d'électricité

Tableau 3.EU15 : Production d'électricité de l'Europe des 15 entre 1990 et 2004

	1990	1994	1998	2004
<i>Charbon</i>	30%	25%	21%	20%
<i>Pétrole</i>	11%	10%	9%	5%
<i>Gaz</i>	8%	11%	17%	24%
<i>Nucléaire</i>	35%	36%	35%	33%
<i>Renouvelables</i>	16%	17%	16%	16%
<i>Autres</i>	1%	1%	1%	1%
Total	100%	100%	100%	100%

Tableau 3.EU25 : Production d'électricité de l'Europe des 25 entre 1990 et 2004

	1990	1994	1998	2004
<i>Charbon</i>	37%	35%	31%	29%
<i>Pétrole</i>	9%	8%	7%	4%
<i>Gaz</i>	8%	9%	15%	20%
<i>Nucléaire</i>	33%	33%	32%	31%
<i>Renouvelables</i>	12%	13%	13%	14%
<i>Autres</i>	1%	1%	1%	1%
Total	100%	100%	100%	100%

En 2004, un pourcentage plus élevé de l'électricité produite l'est à partir du charbon. La part des énergies renouvelables augmente légèrement. Une proportion moins importante d'électricité est produite à partir de pétrole et de nucléaire, et surtout de gaz.

2.1.2.4. La dépendance énergétique

Tableau 5.EU15 : Dépendance énergétique de l'Europe des 15 entre 1990 et 2004

1990	1999	2004
49%	44%	55%

Tableau 5.EU25 : Dépendance énergétique de l'Europe des 25 entre 1990 et 2004

1990	1999	2004
46%	47%	52%

L'élargissement à 25 a légèrement augmenté la dépendance énergétique de l'Europe. L'augmentation de cette dépendance s'est faite selon un rythme identique pour l'Europe des 15 et celle des 25.

Les parts respectives de chaque énergie primaire dans le volume global des importations montrent que la dépendance énergétique en Europe est très largement liée à la faiblesse des ressources pétrolières. La diminution sensible de la part du pétrole dans les importations entre 1990 et 2004 doit être observée parallèlement à l'accroissement des importations de gaz naturel, dont l'importance s'est accrue au détriment du pétrole dans la fourniture énergétique.

Tableau 4.EU15 : Importations d'énergies primaires de l'Europe des 15 entre 1990 et 2004

	1990	1994	1998	2004
<i>Combustibles solides</i>	14%	14%	14%	16%
<i>Pétrole</i>	71%	70%	68%	61%
<i>Gaz</i>	14%	16%	18%	23%
<i>Electricité</i>	0%	0%	0%	0%
<i>Renouvelables</i>	0%	0%	0%	0%
Total	100%	100%	100%	100%

Tableau 4.EU25 : Importations d'énergies primaires de l'Europe des 25 entre 1990 et 2004

	1990	1994	1998	2004
<i>Combustibles solides</i>	10%	10%	11%	13%
<i>Pétrole</i>	72%	72%	68%	62%
<i>Gaz</i>	17%	18%	21%	25%
<i>Electricité</i>	0%	0%	0%	0%
<i>Renouvelables</i>	0%	0%	0%	0%
Total	100%	100%	100%	100%

2.2. La situation énergétique des pays de l'Europe des 15

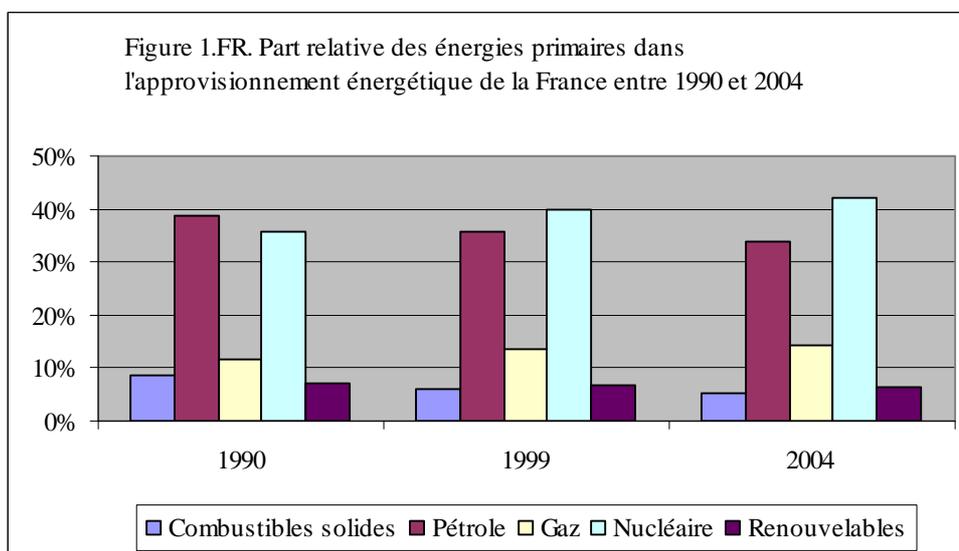
2.2.1. La France

L'évolution du système énergétique français s'est faite autour des principes d'une énergie accessible à tous, de compétitivité des prix, de protection de l'environnement et de sécurité d'approvisionnement. La France dispose de peu de ressources en énergies fossiles. Elle importe du pétrole et des produits pétroliers, consommés pour la plus grande part par le secteur des transports, ainsi que du gaz dont les volumes d'importations ont été marqués par une augmentation régulière au cours des dernières années. Par conséquent, sa production énergétique repose sur l'énergie nucléaire (la France est le premier producteur d'énergie nucléaire dans l'UE) et les énergies renouvelables.

L'*Energy Act* de 2005 et les orientations définies par la Commission européenne en janvier 2007 en matière de politiques énergétiques incitent la France à poursuivre les

orientations énergétiques déjà engagées : développer les renouvelables, améliorer l'efficacité énergétique, réaffirmer les principes d'indépendance énergétique et de durabilité environnementale.

2.2.1.1. L'approvisionnement en énergie primaire



<i>Le nucléaire domine...</i>	Le système énergétique français est dominé par le nucléaire, qui représente 42% de l'approvisionnement en 2004. Avec le pétrole (33%), ces deux énergies représentent 75% de l'approvisionnement énergétique français. La part de l'énergie nucléaire en France est bien plus élevée que la moyenne de l'UE (15% dans l'UE à 25). Grâce au nucléaire, la France compte parmi les quelques pays de l'Union européenne dont la dépendance vis-à-vis des énergies fossiles est relativement faible, mis à part dans le secteur des transports.
<i>La montée en puissance du gaz naturel...</i>	Depuis 1990, c'est le gaz qui enregistre la plus forte progression (sa part a progressé de 51% contre 43% pour le nucléaire, et seulement 6% pour le pétrole). Bien que la part du gaz naturel dans l'approvisionnement total en énergie ait considérablement augmenté au cours des dernières années, son apport dans le bouquet énergétique (14% en 2004) reste inférieur à la moyenne de l'UE (24% dans l'UE à 25 et l'UE à 27).
<i>Une faible progression des énergies renouvelables...</i>	Les combustibles solides sont faiblement représentés comparé à l'UE à 25 (5% contre 18%). Les sources d'énergies renouvelables contribuent à l'approvisionnement en énergie primaire à un niveau identique (6%) à la moyenne de l'UE à 25. La France, qui faisait figure de bon élève par rapport au reste de l'UE en 1990 (7% contre 5%), a perdu son avance, étant désormais dans la moyenne européenne.

2.2.1.2. La production d'énergies primaires

Tableau 1.FR : Production d'énergies primaires de la France entre 1990 et 2004

	1990	1998	2004	Variation 1990-2004	Part relative en 1990 ⁽¹⁾	Part relative en 2004 ⁽¹⁾
<i>Combustibles solides</i>	7,6	3,4	0,5	-93%	7%	0%
<i>Pétrole</i>	3,5	2,4	1,8	-49%	3%	1%
<i>Gaz</i>	2,5	1,8	1,1	-56%	2%	1%
<i>Nucléaire</i>	81	100,1	115,6	43%	73%	85%
<i>Renouvelables</i>	15,8	17	17,4	10%	14%	13%
Total production	110,4	124,7	136,4	24%		
Total approvisionnement	226,6	254,6	273,7	21%		
Production/approv.	49%	49%	50%			

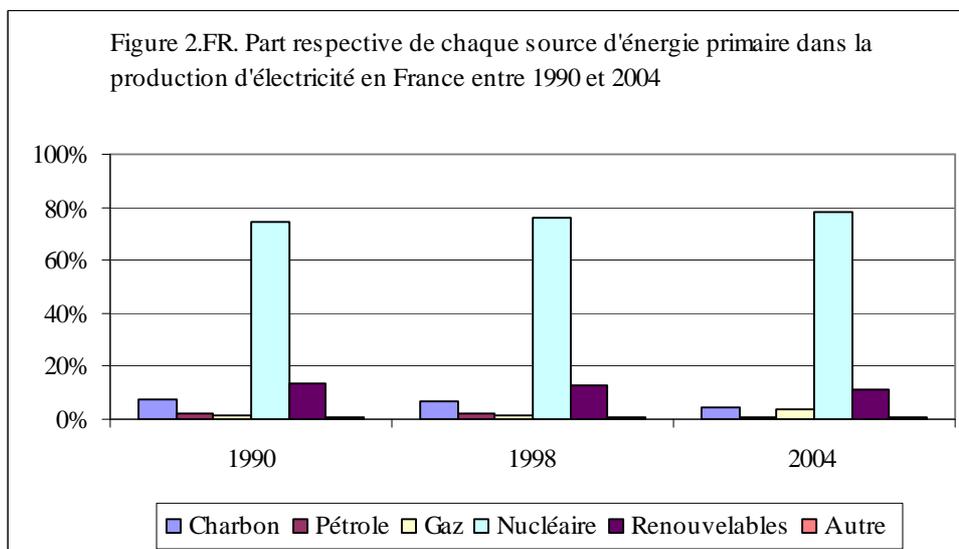
Exprimé en MTep

(1) Part relative de chaque énergie dans la production totale d'énergies primaires

<i>Une production négligeable d'énergies fossiles...</i>	Le niveau des réserves et de la production de pétrole et de gaz est négligeable en France. La production de carburants solides a considérablement baissé depuis 1990 et désormais tout le charbon est importé.
<i>Le rôle central de la filière nucléaire...</i>	La spécificité de la France en matière de production d'énergie est liée à son choix historique de développement de la filière nucléaire (83% de sa production d'énergie correspond à de l'énergie nucléaire contre 25% dans l'UE à 25 et 31% dans l'UE à 15 en 2004). La France est le premier producteur européen d'énergie nucléaire, produisant 45% de l'énergie nucléaire en Europe en 2004, contre 40% en 1990. Cette position dominante lui permet de bénéficier d'une dépendance énergétique relativement plus faible, malgré la faiblesse de sa production d'énergies fossiles. Par ailleurs, le nucléaire permet à la France d'avoir pu stabiliser son ratio production/approvisionnement entre 1990 et 2004, alors que ce ratio pour l'Europe des 15 a diminué sur la période (passant de 54% en 1990 à 49% en 2004).
<i>Une diversification du bouquet énergétique grâce aux renouvelables</i>	Les sources d'énergies renouvelables contribuent à la diversification du bouquet énergétique et électrique. Elles représentent 13% de la production intérieure française en 2004, dans la moyenne de l'UE-15. Ce sont l'énergie hydraulique et la biomasse qui, historiquement, ont largement contribué à la diversification du bouquet énergétique. On observe toutefois des investissements croissants dans l'éolien et les systèmes thermosolaires.
<i>La montée en puissance des biocarburants</i>	La France compte également parmi les plus gros producteurs de biocarburants. Elle fait partie des quelques pays de l'Union actifs à la fois dans la production de biodiesel et de bioéthanol dans les transports. En 2004 et 2005, c'était le second producteur de biodiesel et le quatrième producteur de bioéthanol de l'UE. Les politiques sur les biocarburants ont fait des progrès considérables dans les dernières années ²³ .

²³ L'obligation de 2% a été fixée en 2005, avec une disposition d'exclusion basée sur des paiements fiscaux supplémentaires (Directive 2003/17/EC qui amende la directive 98/70/EC relative à la qualité de l'essence et du diesel). Une nouvelle législation en 2005 a augmenté l'objectif des biocarburants pour 2010 à 7%, ce qui est supérieur au chiffre de 5,75% fixé par la Directive Biocarburants de l'UE.

2.2.1.3. La production d'électricité



<p><i>Une production d'électricité centrée sur le nucléaire...</i></p>	<p>La production d'électricité en France a augmenté de 36% au cours de la période 1990-2004, ce qui se situe dans la moyenne des pays de l'UE. Le secteur électrique est principalement centré sur l'énergie nucléaire. L'énergie nucléaire représente 54% de la capacité installée et 77 % de la production d'électricité en France en 2004, taux bien supérieur à la moyenne de l'UE à 25 (32 %). En 2004, les 59 centrales nucléaires existantes ont produit plus de 115 Mtep d'énergie nucléaire, ce qui représente une augmentation de 43 % par rapport à 1990.</p>
<p><i>Le poids relatif des énergies renouvelables...</i></p>	<p>La part des sources d'énergies renouvelables dans la production d'électricité (principalement l'hydroélectricité) se situe autour de 12 %²⁴. La contribution du charbon, du gaz et du pétrole atteint seulement 10%, la part du gaz étant en hausse. Toutefois, le gaz est dirigé essentiellement vers des usages non électriques, en raison de la place considérable prise par l'énergie nucléaire et les renouvelables.</p>
<p><i>Un marché de l'électricité en pleine mutation</i></p>	<p>Le marché de l'électricité est en plein bouleversement à l'échelle européenne, et les transformations seront d'autant plus déterminantes pour la France historiquement centralisée au niveau de la production. Les clients commerciaux peuvent choisir leur fournisseur depuis le 1^{er} juillet 2004, les clients résidentiels depuis le 1^{er} juillet 2007 ; ces bouleversements veulent répondre aux exigences de transparence, d'efficacité et de concurrence, qui impliquent certaines conditions, notamment un régulateur indépendant, un accès des tiers aux réseaux d'électricité et de gaz ainsi qu'un accès clair et non discriminatoire aux stocks de gaz.</p>
<p><i>La France exportatrice nette d'électricité</i></p>	<p>La France est un exportateur d'électricité, les exportations s'élevant à 12% de la production totale d'électricité en 2004.</p>

²⁴ Cette part devrait dépasser les 20% en 2010. Cf. *Key figures on Europe*, Eurostat, 2007.

2.2.1.4. La dépendance énergétique et les importations nettes

Tableau 2.FR : Dépendance énergétique de la France entre 1990 et 2004

1990	1994	1998	2004
52%	48%	51%	51%

Tableau 3.FR : Importations d'énergie de la France entre 1990 et 2004

	1990	1994	1998	2004	Variation 1990-2004
<i>Combustibles solides</i>	13	8,1	13,1	13,3	2,3%
<i>Pétrole</i>	86,5	81,9	93,3	94,1	8,8%
<i>Gaz</i>	24,4	26,2	30,1	37,8	54,9%
<i>Electricité</i>	-3,9	-5,4	-4,9	-5,3	35,9%
<i>Renouvelables</i>	-	-	-	-0,08	-
Total	120	110,8	131,6	139,8	16,5%

Exprimé en MTep

<i>Une faible progression des importations de pétrole</i>	La France est un importateur net de pétrole (65% des importations totales nettes en 2004), les sources d'approvisionnement principales étant la Norvège, l'Arabie Saoudite, la Fédération russe, le Kazakhstan et l'Iran.
<i>Des importations de gaz en très forte augmentation</i>	La France importe également des quantités importantes de gaz naturel, provenant surtout de Norvège, de Russie, des Pays-Bas, d'Algérie et d'Egypte. Les importations de gaz ont augmenté de 55% au cours de la période 1990-2004, ce qui correspond à la plus forte progression parmi les différentes énergies primaires.
<i>Le charbon progresse très faiblement</i>	La plus faible progression des importations concerne le charbon, dont la France a également cessé la production. L'Australie et L'Afrique du Sud sont les principaux fournisseurs de charbon.
<i>La France exporte son l'électricité</i>	La France est exportatrice nette d'électricité vers les pays voisins (notamment l'Italie et l'Espagne, grâce au développement des capacités d'interconnexion).
<i>Une dépendance énergétique dans la moyenne européenne</i>	La France a vu sa dépendance énergétique se stabiliser depuis 1990, contrairement à ce que l'on observe sur l'ensemble de l'Europe des 15 dont la dépendance énergétique a augmenté. On peut illustrer ce résultat à partir des efforts réalisés dans le cadre du programme nucléaire et relativement aux efforts de la France en matière d'économies d'énergie.

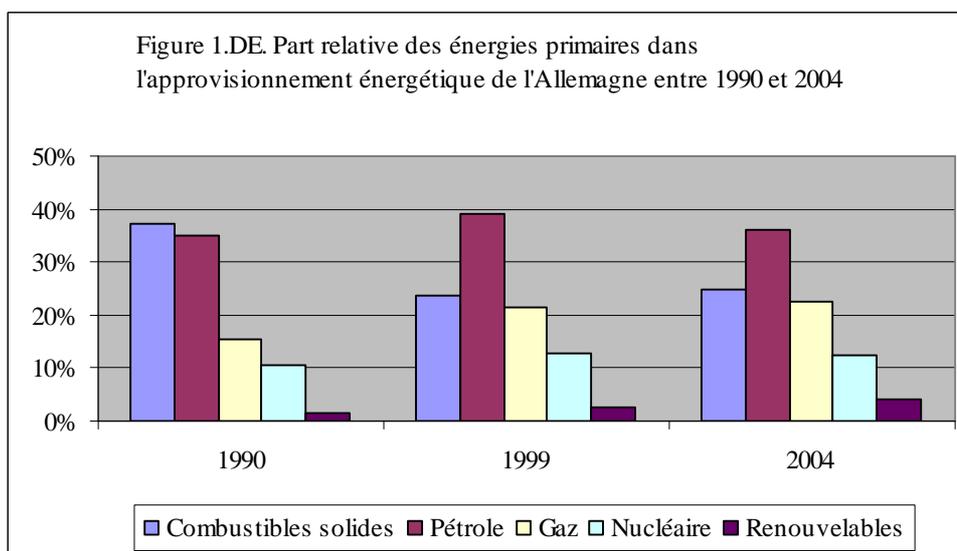
2.2.2. Le cas de l'Allemagne

Les données récentes montrent que le système énergétique allemand a évolué d'une dépendance élevée vis-à-vis des combustibles solides et du nucléaire vers un système plus diversifié où les énergies renouvelables et le gaz naturel occupent une place importante.

La demande énergétique allemande a augmenté à un rythme relativement faible depuis deux décennies, après une longue période de croissance élevée. La réunification en 1990 et la restructuration industrielle qui a suivi ont été des facteurs déterminants de la diminution du taux de croissance de la demande énergétique, l'Allemagne ayant délaissé certaines industries intenses en énergie.

La fiscalité énergétique a également été un vecteur puissant d'amélioration de l'efficacité énergétique dans les secteurs du bâtiment et des transports, assurant un taux d'intensité énergétique plus satisfaisant que la moyenne européenne. En outre, l'Allemagne est désormais un pays leader dans le développement des biocarburants à l'échelle aussi bien européenne que mondiale.

2.2.2.1. L'approvisionnement en énergies primaires



<i>La progression des énergies renouvelables...</i>	Bien qu'encore marginale, la part des énergies renouvelables dans la fourniture a connu la plus forte progression, et parallèlement l'Allemagne a cherché à se désengager des combustibles solides (en particulier le charbon et le lignite) dans les dernières décennies, pour des raisons environnementales.
<i>Le poids historique du pétrole...</i>	Elle s'est tournée vers le gaz naturel, également afin de poursuivre des objectifs environnementaux de réduction des émissions. Le pétrole demeure encore l'énergie dominante en 2004 dans l'approvisionnement énergétique allemand, et sa part n'a pas augmenté sur la période.
<i>La stabilisation du nucléaire</i>	Le nucléaire est toujours présent dans l'approvisionnement énergétique allemand. Sa part s'est stabilisée et légèrement inférieure aux 15% de l'UE-15 en 2004.

2.2.2.2. La production d'énergies primaires

Tableau 1.DE : Production d'énergies primaires de l'Allemagne entre 1990 et 2004

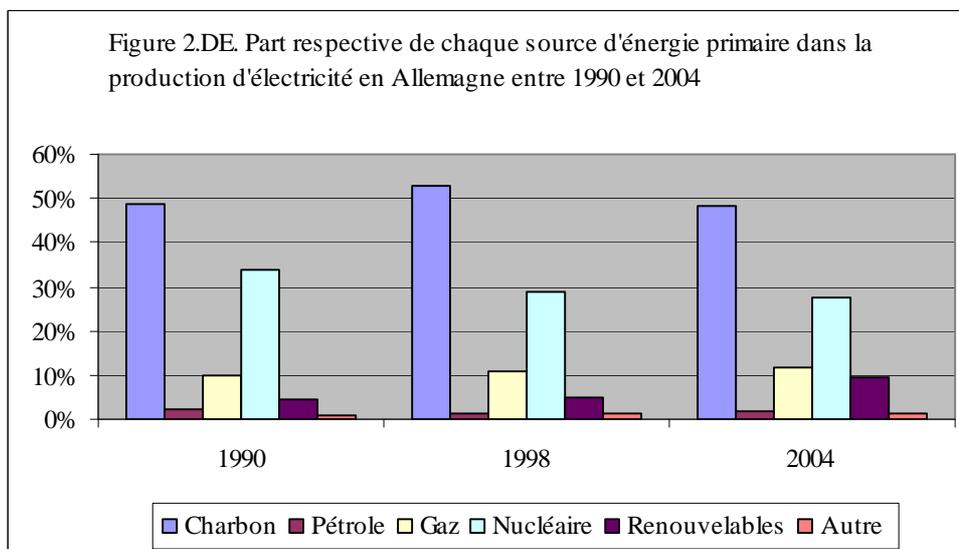
	1990	1998	2004	Variation 1990-2004	Part relative en 1990 ⁽¹⁾	Part relative en 2004 ⁽¹⁾
<i>Combustibles solides</i>	125	65,7	58,3	-53%	67%	43%
<i>Pétrole</i>	3,8	3,2	5,7	50%	2%	4%
<i>Gaz</i>	13,5	15,7	14,7	9%	7%	11%
<i>Nucléaire</i>	37,7	38,9	43,1	14%	20%	32%
<i>Renouvelables</i>	5,7	8,3	13,8	142%	3%	10%
<i>Autres (déchets indus.)</i>	0,5	1,3	1,2	140%	0%	1%
Total production	186,2	133,1	136,8	-27%		
Total approvisionnement	354,5	344,5	347,7	-2%		
Production/approv.	53%	39%	39%			

Exprimé en MTep

(1) Part relative de chaque énergie dans la production totale d'énergies primaires

<i>Un développement remarquable de l'éolien et du photovoltaïque...</i>	Parmi les différentes énergies primaires, l'évolution la plus remarquable concerne les énergies renouvelables. Bien que ce pays ne soit pas particulièrement privilégié en ressources hydroélectriques, le développement de nouvelles sources d'énergies renouvelables est particulièrement avancé par rapport aux partenaires européens, en partie grâce à un système de prix de rachat garantis, mis en place par une loi de 1990, et la loi de 2000 relative aux énergies renouvelables. Ce système a permis le développement des équipements éoliens sur le territoire allemand. Les perspectives de développement offshore vont permettre de pallier les limites d'une exploitation terrestre. La part de l'énergie photovoltaïque a également augmenté, grâce à la mise en place de taux particulièrement attractifs pour les investisseurs. Le marché allemand dépasse désormais dans ce domaine les marchés américains et japonais.
<i>La reprise du nucléaire...</i>	On note également l'accroissement de la production nucléaire, qui représente en 2004 plus de 30% de la production d'énergies primaires contre 20% en 1990.
<i>L'abandon progressif du charbon...</i>	La baisse la plus significative concerne la production de combustibles solides, dont le charbon, liée aux contraintes environnementales drastiques par rapport auxquelles l'Allemagne a souhaité se positionner. Ce choix a entraîné une nette diminution du ratio production/approvisionnement, atteignant un niveau bien inférieur à la moyenne européenne en 2004 (39% contre 49% pour l'EU-15).

2.2.2.3. La production d'électricité



<i>Le poids historique du charbon...</i>	Historiquement, la production d'électricité en Allemagne est assurée grâce au charbon et au lignite, ce dernier jouant désormais un rôle stratégique du fait de la diminution sensible de la production nationale de charbon et de la réunification allemande qui a offert à l'Allemagne des ressources importantes en lignite (ressource peu coûteuse). Les contraintes environnementales limitent toutefois cette expansion.
<i>La capacité éolienne installée la plus importante au monde...</i>	L'évolution la plus remarquable dans la production d'électricité allemande concerne l'énergie éolienne. Ce pays dispose désormais de la plus importante capacité installée au monde. Cette énergie ne représente que 4% de l'électricité produite en 2004, et l'Allemagne produit toujours plus d'hydroélectricité ; toutefois, l'éolien est déterminant pour le marché national et stratégiquement, l'Allemagne est devenu un acteur central du développement de cette filière à l'échelle européenne.
<i>...au détriment du nucléaire</i>	Seulement 27,5% de l'électricité produite provient du nucléaire en 2004, contre plus de 30% en 1990. Deux centrales nucléaires ont été fermées en 2003 et 2005 et un accord a été conclu en 2000 pour que les 17 centrales restantes soient mises à l'arrêt d'ici 2020.

2.2.2.4. La dépendance énergétique et les importations nettes

Tableau 2.DE : Dépendance énergétique de l'Allemagne entre 1990 et 2004

1990	1994	1998	2004
46%	57%	61%	61%

Contrairement à un pays comme la France qui a vu sa dépendance énergétique légèrement diminuer depuis 1990, l'Allemagne se caractérise par une hausse marquée de sa dépendance énergétique, supérieure à la progression moyenne observée dans l'UE des 15 (55%).

Cette évolution s'explique à la fois par la diminution de la production de combustibles solides, compensée par un accroissement de l'offre extérieure, ainsi que l'augmentation du gaz naturel importé dans l'approvisionnement énergétique.

Tableau 3.DE : Importations d'énergie de l'Allemagne entre 1990 et 2004

	1990	1994	1998	2004	Variation 1990-2004
<i>Combustibles solides</i>	3,3	9,8	17,3	27,7	739%
<i>Pétrole</i>	120,1	132,1	139,4	121,3	1%
<i>Gaz</i>	41,7	49,6	56,1	65,9	58%
<i>Electricité</i>	0,1	0,2	-0,1	-0,2	-300%
Total	165,2	191,7	212,7	214,7	30%

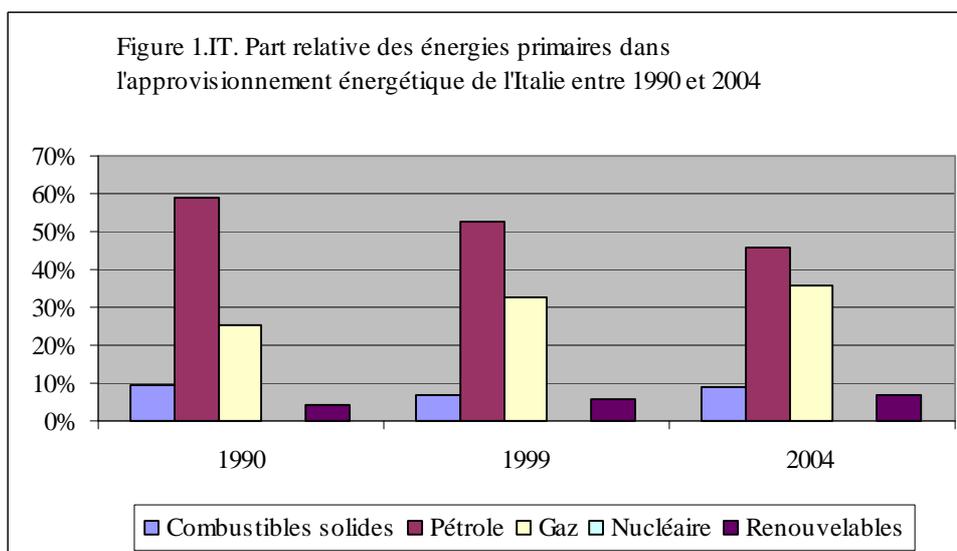
Exprimé en Mtep

Du fait de la faiblesse de ses réserves en pétrole et gaz naturel, les importations allemandes sont dominées par ces deux énergies fossiles, et on observe parmi les énergies importées la forte progression des quantités de gaz naturel importées, cette énergie étant désormais essentielle sur le marché énergétique allemand.

2.2.3. L'Italie

Le secteur de l'énergie est stratégiquement déterminant pour l'économie italienne, qui manque de ressources en énergies fossiles et dépend fortement des importations. Notamment, la dépendance structurelle dont souffre l'Italie en matière de ressources pétrolières l'a amené à largement diversifier ses pays fournisseurs.

2.2.3.1. L'approvisionnement en énergie primaire



<i>Une forte représentation des énergies fossiles</i>	<p>Le système d’approvisionnement énergétique se concentre sur le pétrole et le gaz qui représentaient 82% de la fourniture en énergies primaires de l’Italie en 2004. Si l’on ajoute à cela la part du charbon qui s’élève à 9% de l’approvisionnement énergétique, on peut considérer que l’Italie dépend presque exclusivement des combustibles fossiles.</p> <p>La plus nette progression est celle du gaz, qui représente désormais 35% de l’approvisionnement énergétique italien.</p>
<i>L’importance des énergies renouvelables</i>	<p>Les énergies renouvelables (hydraulique, géothermie et biomasse) comptent pour les 9% restants de l’approvisionnement, ce qui est bien supérieur à la moyenne européenne (environ 6% en 2004 pour l’UE-15).</p>
<i>Le choix du « non nucléaire »</i>	<p>L’Italie fait partie des pays en Europe pour lesquels le nucléaire est totalement absent de la fourniture énergétique du pays.</p>

2.2.3.2. La production d’énergies primaires

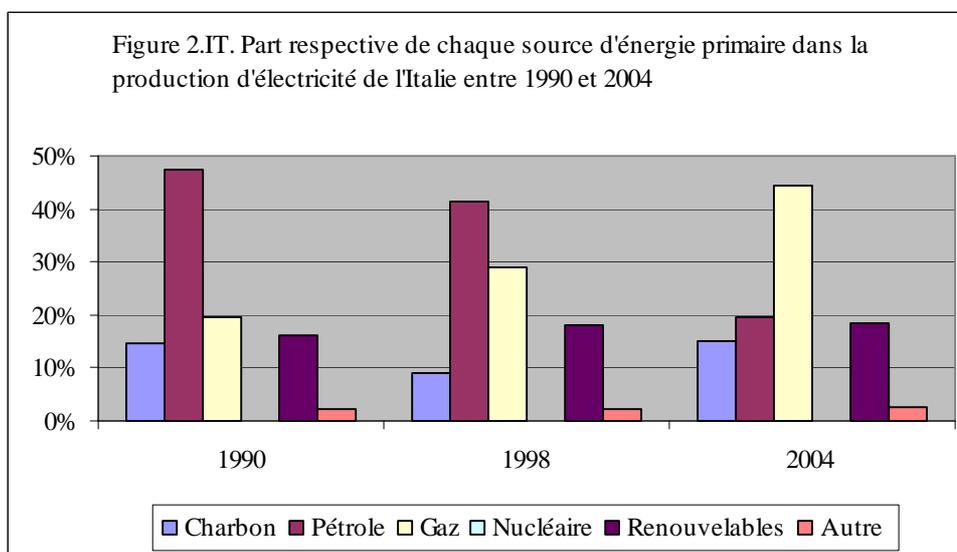
Tableau 1.IT : Production d’énergies primaires de l’Italie entre 1990 et 2004

<i>Exprimé en MTep</i>	1990	1998	2004	Variation 1990-2004	Part relative en 1990 ⁽¹⁾	Part relative en 2004 ⁽¹⁾
<i>Combustibles solides</i>	0,22	0,05	0,06	-73%	1%	0%
<i>Pétrole</i>	4,75	5,85	5,98	26%	19%	20%
<i>Gaz</i>	14,03	15,57	10,62	-24%	55%	36%
<i>Nucléaire</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Renouvelables</i>	6,39	8,81	11,88	86%	25%	41%
<i>Autres (déchets indus.)</i>	0,15	0,11	0,79	427%	1%	3%
Total production	25,54	30,38	29,33	15%		
Total approvisionnement	153,1	168,3	184,8	21%		
Production/approv.	17%	18%	16%			

(1) Part relative de chaque énergie dans la production totale d’énergies primaires

<i>Une production inexistante d’énergies fossiles et de nucléaire</i>	<p>La production rapportée à l’approvisionnement total en énergies primaires montre une faiblesse particulièrement importante dans le cas de l’Italie (16%, la moyenne européenne de ce ratio production/approvisionnement étant de 51% en 2004). Cette situation est d’une part liée à l’absence d’une production d’énergie nucléaire, d’autre part au fait que l’Italie ne dispose d’aucunes ressources fossiles (pétrole, gaz naturel ou charbon).</p>
<i>Un développement très net des énergies renouvelables</i>	<p>Sur la période 1990-2004, la part des énergies renouvelables produites double, la production totale d’énergies primaires ayant seulement progressé de 15%. 34% des énergies renouvelables proviennent de l’hydraulique, et la géothermie représente 41%. Les 25% restants correspondent à la biomasse. L’énergie éolienne et photovoltaïque reste inexploitée, ce qui laisse à l’Italie une importante marge de progression pour le futur. Concernant la géothermie, l’Italie occupe une position de leader en Europe, et elle fait partie des principaux producteurs à l’échelle mondiale. La production est concentrée dans les régions du centre de l’Italie.</p>

2.2.3.3. La production d'électricité



<p><i>La réforme engagée du marché de l'électricité</i></p>	<p>La réforme du marché de l'électricité engagée dès 1999 a progressivement augmenté le nombre d'opérateurs, en leur permettant d'accéder librement aux réseaux de transport et de distribution. La libéralisation du côté de la demande s'est également mise en place de manière progressive. Depuis juillet 2004, les clients non résidentiels ont la possibilité de choisir leur fournisseur d'électricité, et c'est également le cas depuis le 1^{er} juillet 2007 pour les clients résidentiels.</p>
<p><i>La progression du gaz naturel</i></p>	<p>La part du pétrole dans la production d'électricité a très nettement diminué sur la période 1990-2004, et parallèlement on observe la forte augmentation de la part du gaz naturel qui représentait près de 45% en 2004.</p>
<p><i>La confirmation du rôle prépondérant des énergies renouvelables</i></p>	<p>La place des énergies renouvelables est historiquement déterminante sur le marché italien de l'électricité. On a pu voir que l'approvisionnement en énergies renouvelables représente 9% de l'approvisionnement total en énergies primaires, ce qui est bien supérieur à la moyenne européenne.</p> <p>La production d'électricité issue des énergies renouvelables (près de 20% en 2004) se situe également au dessus de la moyenne européenne (inférieure à 15% en 2004). 78% de l'électricité produite à partir des énergies renouvelables provient de l'énergie hydraulique.</p>

2.2.3.4. La dépendance énergétique et les importations nettes

Tableau 2.IT : Dépendance énergétique de l'Italie entre 1990 et 2004

1990	1994	1998	2004
85%	81%	82%	85%

La dépendance énergétique de l'Italie est particulièrement élevée, comparée à la moyenne européenne (55% pour l'UE-15 en 2004). Comme on a pu l'observer, cela tient à sa pauvreté en énergies fossiles, et son choix de ne pas avoir recours à l'énergie nucléaire dans son approvisionnement.

Tableau 3.IT : Importations d'énergie de l'Italie entre 1990 et 2004

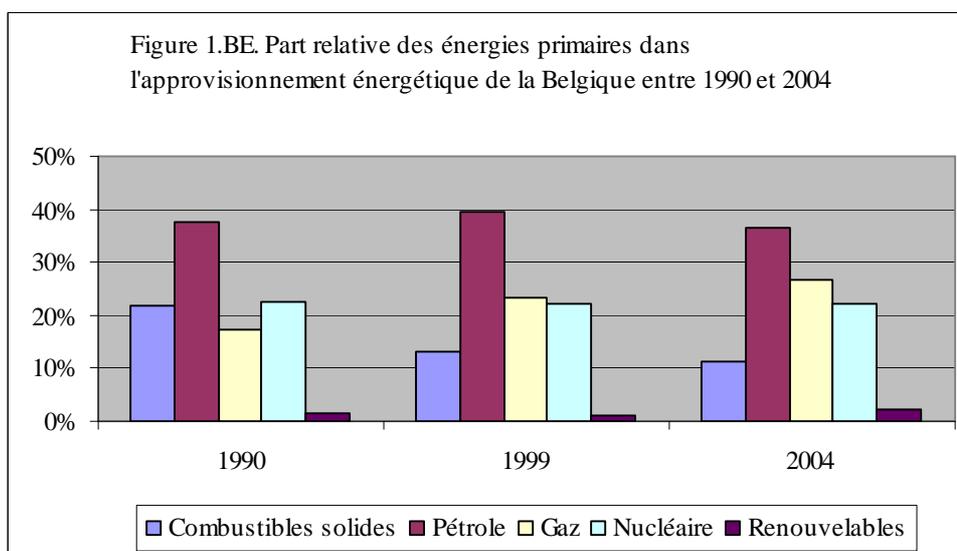
	1990	1994	1998	2004	Variation 1990-2004
<i>Combustibles solides</i>	13,79	10,85	11,55	16,77	22%
<i>Pétrole</i>	89,89	87,52	89,94	82,44	-8%
<i>Gaz</i>	25,31	24,2	34,89	55,29	118%
<i>Electricité</i>	2,98	3,23	3,5	3,92	32%
<i>Renouvelables</i>	0,09	0,2	0,36	0,65	622%
Total	132,06	126,01	140,24	159,07	20%

Exprimé en Mtep

Les importations d'énergies primaires ont fortement progressé sur la période. C'est surtout le cas pour le gaz qui est devenue une énergie déterminante dans l'approvisionnement énergétique du pays.

2.2.4. Le cas de la Belgique

2.2.4.1. L'approvisionnement en énergies primaires



<i>La prépondérance des énergies fossiles ...</i>	La Belgique dispose de peu d'énergies fossiles et doit donc importer la plupart des énergies qu'elle consomme, comme beaucoup de pays européens. Son approvisionnement était composé en 2004 à 75% par les énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon). Le gaz progresse dans cet approvisionnement au détriment des combustibles solides.
<i>Un bon positionnement du nucléaire...</i>	L'approvisionnement énergétique de la Belgique est constitué à 22% par du nucléaire. En effet, dès les années 1960, la Belgique a considéré le nucléaire comme une énergie clé pour faire face à la croissance de la demande énergétique. Les vives réactions au sein de la population après l'accident de Tchernobyl ont été un facteur du freinage de l'expansion du nombre de réacteurs, jusqu'en 2003 où la décision a été prise de fermer toutes les centrales de plus de 40 ans entre 2015 et 2025. Cependant, comme dans beaucoup de pays européens, les préoccupations en matière de changement climatique et l'élévation des prix de l'énergie ont amené la Belgique à discuter à nouveau de l'importance de l'énergie nucléaire dans l'approvisionnement énergétique du pays.
<i>Une légère progression des renouvelables...</i>	La production d'énergies renouvelables repose sur un système de certificats verts. L'adoption de ce mécanisme de marché a participé au développement des investissements éoliens et de la biomasse. Mais la part des renouvelables reste inférieure à la moyenne européenne.

2.2.4.2. La production d'énergies primaires

Tableau 1.BE : Production d'énergies primaires de la Belgique entre 1990 et 2004

	1990	1998	2004	Variation 1990-2004	Part relative en 1990 ⁽¹⁾	Part relative en 2004 ⁽¹⁾
<i>Combustibles solides</i>	1,1	0,1	0,1	-91%	9%	1%
<i>Pétrole</i>	-	-	-		-	-
<i>Gaz</i>	-	-	-		-	-
<i>Nucléaire</i>	10,7	11,4	12,2	14%	86%	92%
<i>Renouvelables</i>	0,6	0,7	0,9	50%	5%	7%
<i>Autres (déchets indus.)</i>	0,1	0,1	0,1	0%	1%	1%
Total production	12,5	12,3	13,3	6%	-	-
Total approvisionnement	47,3	56,2	54,8	16%		
Production/approv.	26%	22%	24%			

Exprimé en Mtep

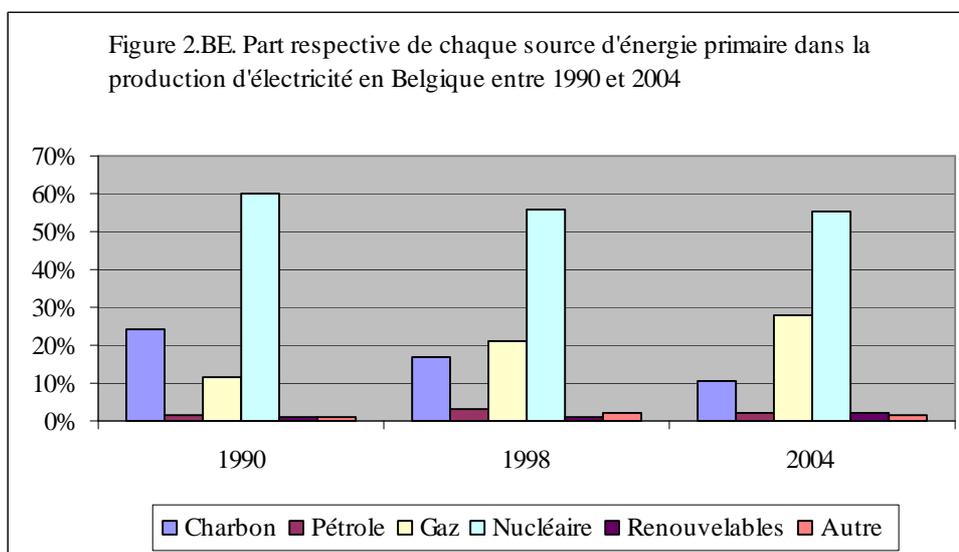
(1) Part relative de chaque énergie dans la production totale d'énergies primaires

La situation de la Belgique est similaire à celle de nombreux pays européens ; elle ne produit aucune ressource en énergies fossiles, que ce soit en pétrole, gaz naturel ou charbon.

La production d'énergies primaires représente seulement 24% de l'approvisionnement en 2004 (contre 51% pour l'Europe des 15). Plus de 90% de la production d'énergie est d'origine nucléaire.

La part des énergies renouvelables, bien qu'ayant légèrement progressé, reste relativement marginale dans la production totale (7% contre 13% pour l'UE-15 en 2004).

2.2.4.3. La production d'électricité



<i>Une ouverture du marché conforme à la directive</i>	La directive européenne relative à la libéralisation du marché intérieur de l'électricité a été transposée dès la première étape de ce processus de libéralisation (transposition début 1990) pour le secteur industriel. Dans la deuxième étape du processus, marquant l'ouverture totale du marché, la région de Flandres a anticipé l'ouverture complète dès 2003. Pour Bruxelles et la région wallonne, le processus a été finalisé en 2007, date prévue par la directive. Le réseau d'électricité (et de gaz) est détenu par des opérateurs locaux (20% public, et 80% en structure mixte).
<i>Le rôle du nucléaire</i>	La production d'électricité est dominée par le nucléaire, même si l'on observe une légère régression entre 1990 et 2004.
<i>Charbon et pétrole en retrait, gaz naturel en progression</i>	On observe sur la période une diminution de moitié de la part du charbon dans la production d'électricité, énergie qui devient presque marginale. La place du charbon rejoint progressivement le faible rôle joué par le pétrole dans la production d'électricité de la Belgique. Sur la période, le gaz est devenu une source importante (25% en 2004 contre 8% en 1990)
<i>Le rôle marginal des énergies renouvelables</i>	Les énergies renouvelables progressent légèrement, mais restent marginales dans la production d'électricité.

2.2.4.4. La dépendance énergétique et les importations nettes

Tableau 2.BE : Dépendance énergétique de la Belgique entre 1990 et 2004

1990	1994	1998	2004
76%	79%	81%	79%

Tableau 3.BE : Importations d'énergie de la Belgique entre 1990 et 2004

	1990	1994	1998	2004	Variation 1990-2004
<i>Combustibles solides</i>	9,5	8,2	8,6	6,2	-35%
<i>Pétrole</i>	21,5	24,3	28,9	27,7	29%
<i>Gaz</i>	8,2	9,8	12,4	14,5	77%
<i>Electricité</i>	-0,3	0,3	0,1	0,7	-333%
Total	38,9	42,7	50,1	49,3	27%

Exprimé en Mtep

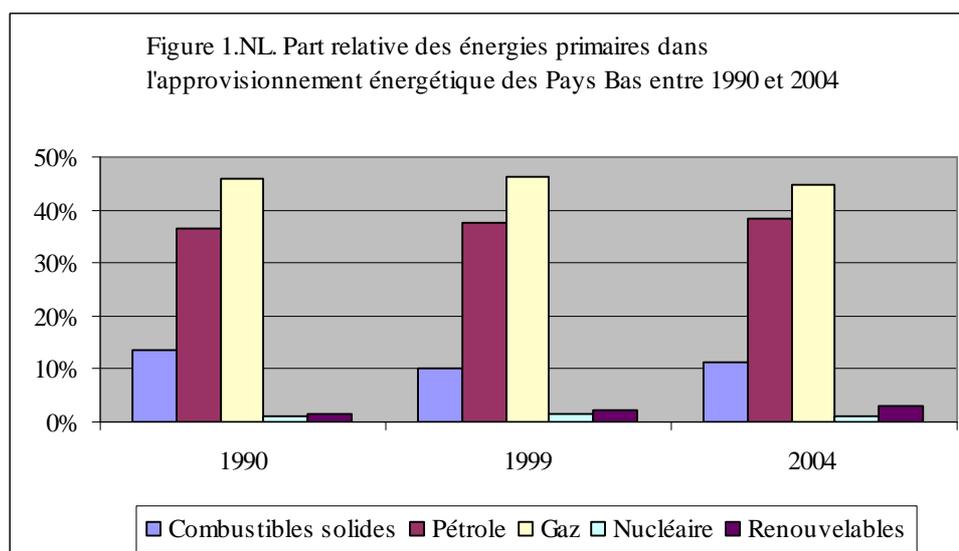
La Belgique importe la quasi-totalité des énergies fossiles qu'elle consomme. Le pétrole constitue la majeure partie de ces importations (56% en 2004), suivi par le gaz naturel (24% en 1990, 30% en 2004). Le gaz belge est importé principalement des Pays Bas, de la Norvège et de l'Algérie.

Pendant des décennies, la Belgique a produit une grande partie du charbon qu'elle consommait. Dès les années 1980, elle se tournait vers le charbon importé, plus compétitif, cherchant dès lors à diversifier sa fourniture de charbon. Elle est désormais approvisionnée par un grand nombre de pays à travers le monde.

Sa dépendance énergétique (79% en 2004) est en légère progression et bien supérieure à la moyenne de l'Europe des 15 (55%).

2.2.5. Le cas des Pays Bas

2.2.5.1. L'approvisionnement en énergies primaires



<i>La prédominance du gaz naturel et du pétrole</i>	Les énergies fossiles représentent historiquement la quasi-totalité de l’approvisionnement en énergies primaires des Pays Bas (96% en 1990, 94% en 2004), ce pays bénéficiant dans son sol d’une abondance en ressources (d’abord du charbon, puis dans les années 1960, la découverte de gisements de gaz naturel). Le gaz naturel représente à lui seul quasiment la moitié de l’approvisionnement énergétique du pays. Le gaz naturel est employé pour de nombreux usages, la production d’électricité, le chauffage domestique et l’industrie.
<i>L’absence du nucléaire</i>	Le nucléaire ne compte que pour 1% dans l’approvisionnement énergétique des Pays Bas.
<i>La progression du renouvelable</i>	Bien que relativement peu significative dans l’approvisionnement, la part des énergies renouvelables a triplé sur la période 1990-2004.

2.2.5.2. La production d’énergies primaires

Tableau 1.NL : Production d’énergies primaires des Pays Bas entre 1990 et 2004

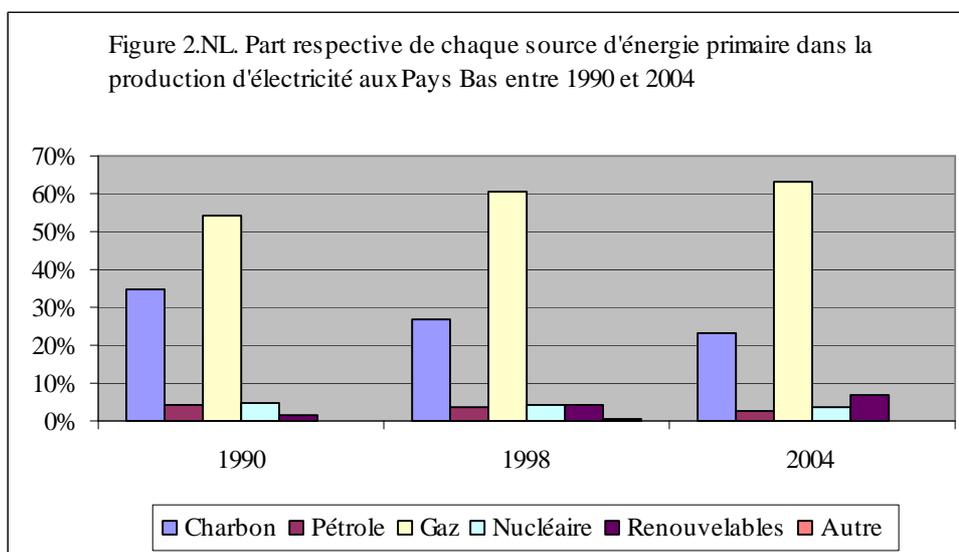
	1990	1998	2004	Variation 1990-2004	Part relative en 1990 ⁽¹⁾	Part relative en 2004 ⁽¹⁾
<i>Combustibles solides</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Pétrole</i>	4,0	2,8	2,9	-27%	7%	4%
<i>Gaz</i>	54,6	57,6	61,6	13%	90%	91%
<i>Nucléaire</i>	0,9	0,9	1,0	13%	1%	1%
<i>Renouvelables</i>	1,0	1,5	2,4	146%	2%	3%
<i>Autres (déchets indus.)</i>	0,0	0,3	0,0	-	-	-
Total production	60,5	63,0	67,9	12%		
Total approvisionnement	67,0	75,0	82,3	23%		
Production/approv.	90%	84%	82%	-		

Exprimé en MTep

(1) Part relative de chaque énergie dans la production totale d’énergies primaires

<i>Un gaz naturel omniprésent</i>	Les Pays Bas font partie des rares pays en Europe, avec le Danemark et le Royaume Uni, qui produisent une grande partie de l’énergie qu’ils consomment. Le gaz naturel est la principale énergie produite localement. Le pétrole ne joue que pour une faible part dans cette production.
<i>Une stratégie énergétique tournée vers le renouvelable</i>	On observe la plus nette progression pour les énergies renouvelables. Une géographie peu accidentée ne permet pas aux Pays Bas de développer l’énergie hydraulique. Les principales énergies renouvelables sont l’éolien et la biomasse. La forte dépendance du système énergétique vis-à-vis des énergies fossiles a suscité de vifs débats dans le pays ces dernières années, avec la volonté affichée de modifier la tendance poursuivie jusque là. Les préoccupations relatives au changement climatique sont devenues prédominantes, mettant en avant le caractère stratégique des énergies renouvelables.

2.2.5.3. La production d'électricité



<i>Une production d'électricité centrée sur le gaz naturel</i>	Le système de production d'électricité des Pays Bas est logiquement centré sur les énergies fossiles, ce pays ayant jusqu'à présent cherché à bénéficier le plus largement de ses ressources propres. Il a parallèlement développé un réseau très dense d'infrastructures électriques et gazières qui fait référence en Europe. Le gaz naturel assurait en 2004 près de 65% de la production d'électricité, suivi d'assez loin par le charbon (23%) dont la part a très nettement régressé sur la période (35% en 1990).
<i>Le faible rôle du pétrole et du nucléaire</i>	Le nucléaire ne représente que 4% de la production d'électricité en 2004, part qui est stable sur la période, voire en légère régression. Cette part est bien inférieure à la moyenne de l'UE-15 (33%). On observe également la stabilisation de la part du pétrole.
<i>La montée en puissance du renouvelable</i>	Les énergies renouvelables assurent désormais plus de 7% de la production d'électricité (contre 2% en 1990), confirmant les orientations stratégiques de développement de ce secteur prises par ce pays ces dernières années. Même si cette part est nettement inférieure à la moyenne européenne (16% en 2004), les Pays Bas se sont donnés des objectifs ambitieux pour développer cette filière.

2.2.5.4. La dépendance énergétique et les importations nettes

Tableau 2.NL : Dépendance énergétique des Pays Bas entre 1990 et 2004

1990	1994	1998	2004
22%	21%	27%	31%

La dépendance énergétique est faible, comparée au reste de l'Europe (55% en 2004), du fait des ressources en gaz naturel et d'une politique active en faveur des renouvelables. L'augmentation de cette dépendance tient principalement à la progression des importations de pétrole. Par ailleurs, l'économie du pays est assez intense énergétiquement, notamment l'industrie chimique et le secteur agricole. Les transports et l'industrie comptent pour une part égale dans la demande énergétique.

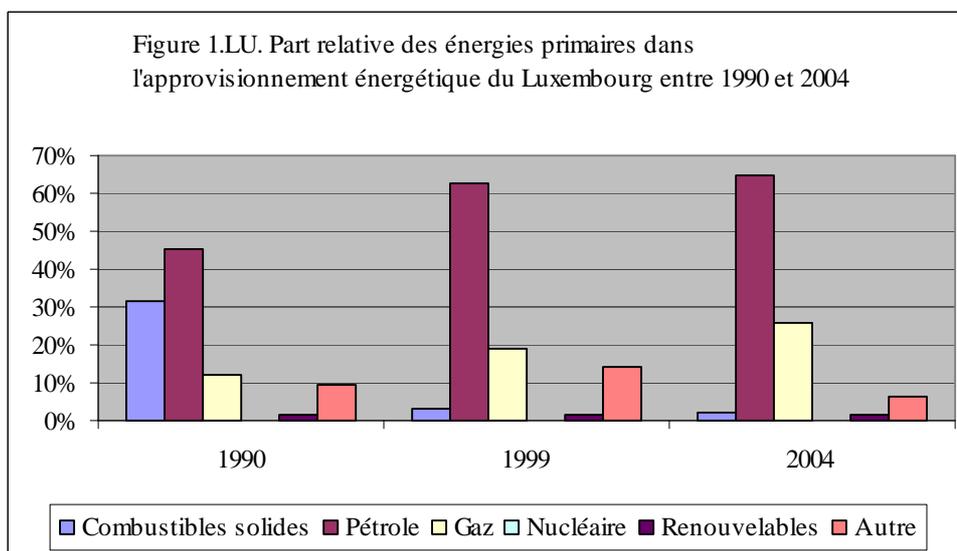
Tableau 3.NL : Importations d'énergie des Pays Bas entre 1990 et 2004

	1990	1994	1998	2004	Variation 1990-2004
<i>Combustibles solides</i>	9,6	8,9	8,7	9,1	-5%
<i>Pétrole</i>	30,9	33,9	36,5	44,1	43%
<i>Gaz</i>	-23,8	-26,5	-22,7	-24,9	4%
<i>Electricité</i>	0,8	0,9	1,0	1,4	76%
Total	17,4	17,2	23,5	29,7	71%

Exprimé en Mtep

2.2.6. Le cas du Luxembourg

2.2.6.1. L'approvisionnement en énergies primaires



<i>L'importance du pétrole et des énergies fossiles</i>	En 2004, 93% de l'approvisionnement énergétique du Luxembourg provenait des énergies fossiles. Cette proportion n'a guère changé depuis 1990 ; toutefois, à cette époque, un peu plus de 30% de cet approvisionnement était assuré par le charbon et 45% par le pétrole. Le charbon était même la principale source d'énergie jusqu'au milieu des années 1980. Il ne joue désormais qu'un faible rôle, évolution liée à la restructuration de l'industrie sidérurgique luxembourgeoise. La substitution s'est faite en faveur du pétrole qui, en 2004, assure 65% de l'approvisionnement énergétique du pays.
<i>La promotion du gaz naturel</i>	La part du gaz a doublé, passant de 12% à 26% dans cet approvisionnement. Ces dernières années, le gouvernement a en effet cherché à promouvoir cette source d'énergie, en favorisant l'extension du réseau et le développement de centrales à cycle combiné.
<i>Un renouvelable faiblement représenté</i>	Le nucléaire est totalement absent de la fourniture énergétique luxembourgeoise. Les énergies renouvelables, essentiellement l'hydraulique et la biomasse, plus récemment un peu l'éolien, ne comptent que pour 1% dans cette fourniture, cette part étant restée stable depuis 1990.

2.2.6.2. La production d'énergies primaires

Tableau 1.LU : Production d'énergies primaires du Luxembourg entre 1990 et 2004

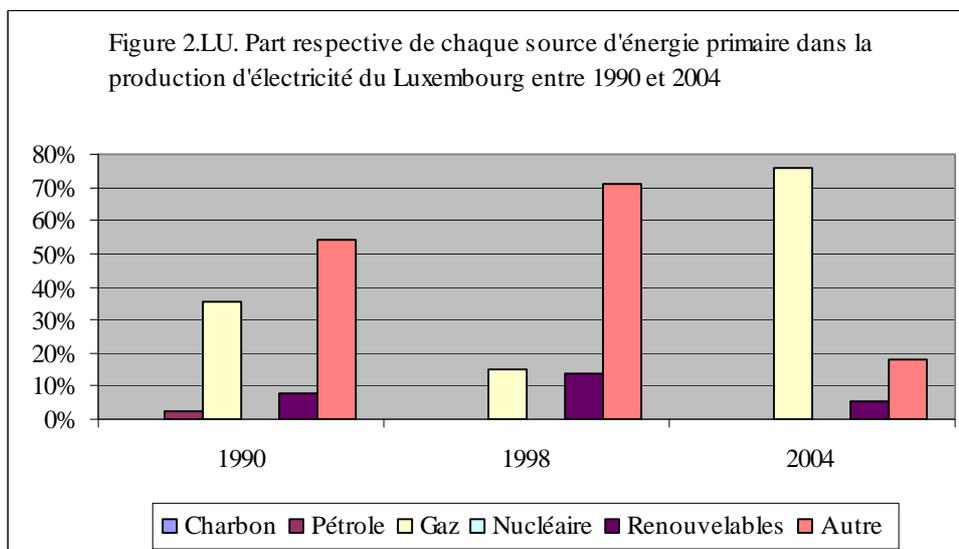
	1990	1998	2004	Variation 1990-2004	Part relative en 1990 ⁽¹⁾	Part relative en 2004 ⁽¹⁾
<i>Combustibles solides</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Pétrole</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Gaz</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Nucléaire</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Renouvelables</i>	0,05	0,05	0,07	40%	100%	100%
<i>Autres (déchets indus.)</i>	-	-	-	-	-	-
Total production	0,05	0,05	0,07	40%		
Total approvisionnement	3,6	3,3	4,7			
Production/approv.	1%	2%	1%			

Exprimé en MTep

(1) Part relative de chaque énergie dans la production totale d'énergies primaires

La production d'énergies primaires est inexistante au Luxembourg. La seule production nationale est celle des énergies renouvelables, mais elle reste dérisoire.

2.2.6.3. La production d'électricité



<i>Le gaz naturel prédomine</i>	<p>On peut noter que 76% de l'électricité en 2004 était produite par des centrales à gaz, cette part ayant très nettement progressé depuis 1990. Le pétrole joue un rôle marginal dans cette production.</p> <p>Le marché s'est libéralisé conformément à la directive, à partir de 2001 pour les gros industriels, 2004 pour le reste de la clientèle commerciale. Les clients résidentiels sont libres de choisir leur fournisseur depuis 2007. Le secteur du gaz a suivi à peu près la même évolution.</p>
<i>Un quart de l'électricité à partir des renouvelables</i>	<p>Les statistiques d'Eurostat ne sont guère lisibles, la catégorie « autre » n'étant pas spécifiée. Certaines publications européennes indiquent toutefois que 21% de l'électricité du Luxembourg était produite à partir de centrales hydrauliques, la principale située dans le Nord du pays. Le reste de l'électricité est produit à partir de la biomasse et de l'éolien.</p>
<i>L'absence du nucléaire</i>	<p>Le nucléaire est historiquement totalement absent de la production d'électricité.</p>

2.2.6.4. La dépendance énergétique et les importations nettes

Tableau 2.LU : Dépendance énergétique du Luxembourg entre 1990 et 2004

1990	1994	1998	2004
99%	99%	99,5%	98%

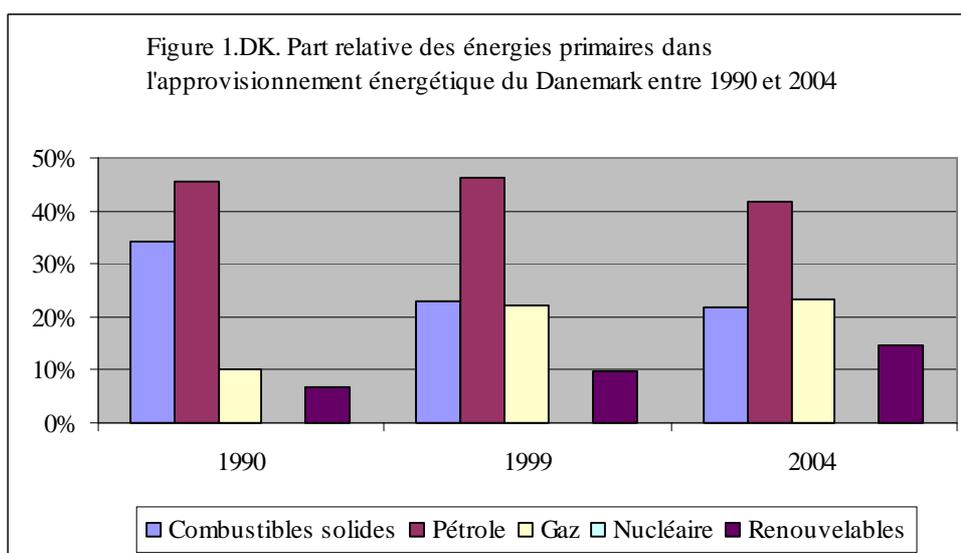
La dépendance énergétique du Luxembourg est totale, la seule production étant celle relative aux énergies renouvelables, dont les usages restent marginaux par rapport aux besoins énergétiques nationaux.

Tableau 3.LU : Importations d'énergie du Luxembourg entre 1990 et 2004

Exprimé en Mtep					Variation 1990-2004
	1990	1994	1998	2004	
Combustibles solides	1,1	0,9	0,1	0,1	-92%
Pétrole	1,6	1,9	2,1	3,0	86%
Gaz	0,4	0,5	0,6	1,2	179%
Electricité	0,3	0,4	0,5	0,3	-15%
Total	3,5	3,7	3,3	4,6	30%

2.2.7. Le cas du Danemark

2.2.7.1. L'approvisionnement en énergies primaires



<i>La prédominance du pétrole et des énergies fossiles</i>	La structure du système énergétique danois s'est considérablement modifiée depuis environ 20 ans avec la découverte de gaz et de pétrole dans la Mer du Nord au début des années 1980. La part du pétrole et du charbon représente encore 62% de l'approvisionnement énergétique du pays. Celle du pétrole est demeurée supérieure à 40% sur toute la période. La part des combustibles solides a régressé au profit du gaz naturel, mais représente toujours plus de 20% de l'approvisionnement, proche de celle du gaz naturel. La croissance économique soutenue a maintenu une demande élevée de pétrole dans les transports, et fait partie des éléments expliquant la prééminence des énergies fossiles dans l'approvisionnement.
<i>La montée en puissance des énergies renouvelables</i>	Malgré ses ressources en énergies fossiles, le Danemark a développé une politique active de promotion des énergies renouvelables, qui ont considérablement progressé sur toute la période pour atteindre 15% de l'approvisionnement en 2004. Il s'agit principalement de la biomasse et de l'éolien.
<i>L'absence du nucléaire</i>	Le nucléaire est totalement absent de l'approvisionnement énergétique du Danemark.

2.2.7.2. La production d'énergies primaires

Tableau 1.DK : Production d'énergies primaires du Danemark entre 1990 et 2004

	1990	1998	2004	Variation 1990-2004	Part relative en 1990 ⁽¹⁾	Part relative en 2004 ⁽¹⁾
<i>Combustibles solides</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Pétrole</i>	6	11,7	19,7	228%	60%	64%
<i>Gaz</i>	2,8	6,8	8,5	204%	28%	28%
<i>Nucléaire</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Renouvelables</i>	1,2	1,8	2,7	125%	12%	9%
<i>Autres (déchets indus.)</i>	-	-	-	-	-	-
Total production	10	20,3	30,9	209%	-	-
Total approvisionnement	17,9	21,0	20,0			
Production/approv.	56%	97%	155%			

Exprimé en Mtep

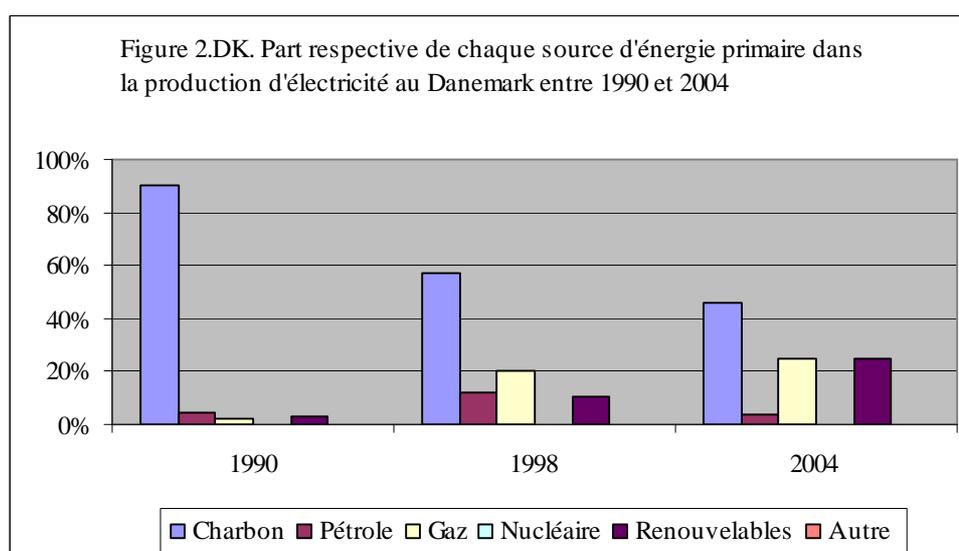
(1) Part relative de chaque énergie dans la production totale d'énergies primaires

Le Danemark produit du pétrole et du gaz naturel et depuis les années 1990, la production n'a cessé de croître, la production ayant rapidement couvert les besoins en énergie du pays. Le pays exporte une part significative de sa production.

La production de combustibles solides est inexistante, le Danemark important cette énergie en totalité.

La production d'énergies renouvelables a plus que doublé sur la période.

2.2.7.3. La production d'électricité



<i>Réforme et diversification énergétique</i>	Les réformes entreprises à partir de 1999 conformément à la libéralisation du marché énergétique ont permis aux consommateurs danois de pouvoir rapidement choisir parmi une multitude de fournisseurs de gaz ou d'électricité. Le Danemark est le premier pays au monde à avoir introduit le système de quotas de CO ₂ . Celui-ci a permis d'une part de limiter les émissions ; d'autre part, les recettes perçues ont été dédiées au développement de projets d'efficacité énergétique. Depuis 20 ans, le Danemark a connu un processus assez remarquable de diversification énergétique.
<i>L'accroissement de la place du gaz naturel au détriment du charbon</i>	L'électricité produite à base de charbon représentait en 1990 près de 90% de la production totale d'électricité. Cette part s'est réduite de moitié en 15 ans. La substitution s'est en partie faite au profit du pétrole, mais l'électricité à base de pétrole a retrouvé en 2004 son niveau de 1990 (4%). Le gaz naturel a pris une place déterminante dans la production d'électricité danoise, représentant désormais 25% de la production, grâce aux investissements massifs réalisés au niveau des infrastructures entre 1985 et 1995.
<i>La progression des renouvelables</i>	La progression la plus remarquable concerne les énergies renouvelables dont la part est passée de 3% à 25% dans la production d'électricité (16% pour l'éolien et 9% pour la biomasse). Ce niveau dépasse largement les 16% de la moyenne européenne (UE-15).

2.2.7.4. La dépendance énergétique et les importations nettes

Tableau 2.DK : Dépendance énergétique du Danemark entre 1990 et 2004

1990	1994	1998	2004
46%	27%	7%	-48%

En 1990, le Danemark se situait dans la moyenne européenne en matière de dépendance énergétique. La découverte de gisements de pétrole et de gaz naturel a renversé la situation. Depuis 1997, le pays est exportateur net de pétrole et de produits pétroliers, étant devenu le troisième producteur de pétrole en Europe de l'Ouest, après la Norvège et le Royaume Uni.

Le pétrole est désormais utilisé stratégiquement comme une ressource d'exportation et en tant que carburant pour les transports. Il est en revanche exclu de secteurs où des énergies plus propres et plus efficaces sont disponibles (électricité et chauffage).

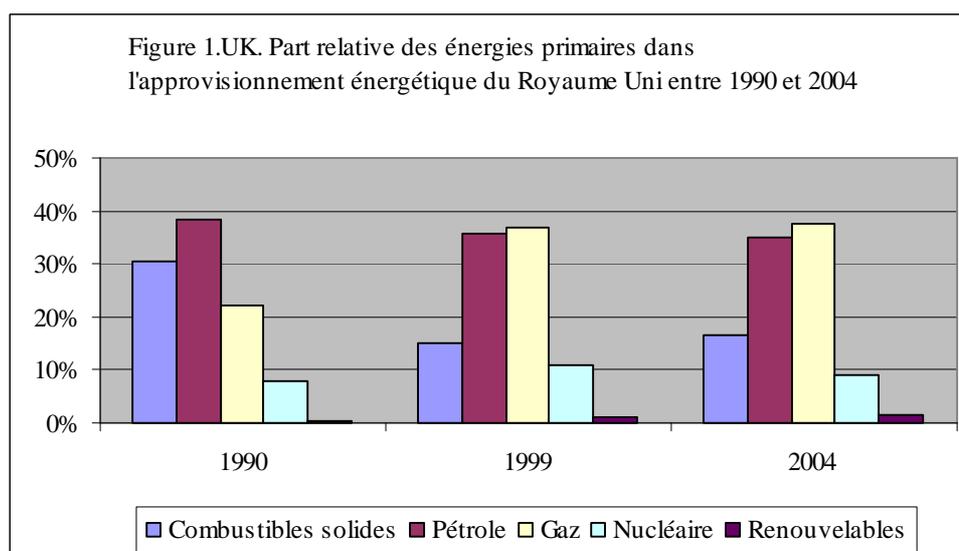
Le Danemark fait partie du *Nord Pool*, groupe de pays rassemblant également la Finlande, la Suède et la Norvège. Cette zone d'échange assure aux consommateurs scandinaves une disponibilité en ressources à des prix compétitifs, en dépit des variations de l'offre.

Tableau 3.DK : Importations d'énergie du Danemark entre 1990 et 2004

Exprimé en Mtep	1990	1994	1998	2004	Variation 1990-2004
Combustibles solides	6,2	6,9	4,8	4,4	-29%
Pétrole	2,7	1	-0,3	-10,6	-493%
Gaz	-0,9	-1,5	-2,5	-3,7	311%
Electricité	0,6	-0,4	-0,4	-0,3	-150%
Total	8,6	6	1,6	-10	-216%

2.2.8. Le cas du Royaume Uni

2.2.8.1. L'approvisionnement en énergies primaires



<i>La prédominance des énergies fossiles</i>	Le Royaume Uni présente une structure de son approvisionnement similaire à celle du Danemark, au sens où l'essentiel de cet approvisionnement est assuré par les énergies fossiles (90% en 1990, 89% en 2004). La part du pétrole est stable sur la période ; le charbon a vu sa part diminuer, alors que cette énergie représentait dans les années 1970 quasiment la moitié de la fourniture énergétique (contre 16% en 2004). La diminution du charbon s'est faite au profit du gaz naturel qui est devenu, à partir du milieu des années 1990, la principale ressource d'approvisionnement énergétique du Royaume Uni, et représente désormais 38% de l'approvisionnement. Cette évolution a pu se faire avec la construction de nombreuses centrales à cycle combiné au gaz.
<i>La stabilisation du nucléaire</i>	L'énergie nucléaire a connu une nette progression pendant de nombreuses années. On observe une stabilisation de la part de cette énergie dans l'approvisionnement à partir du milieu des années 1990.
<i>Une faible représentativité des renouvelables</i>	La part des énergies renouvelables demeure marginale dans l'approvisionnement (proche de 0% en 1990, 2% en 2004). Toutefois, des investissements importants ont été entrepris pour développer l'éolien et la biomasse ces dernières années.

2.2.8.2. La production d'énergies primaires

Tableau 1.UK : Production d'énergies primaires du Royaume Uni entre 1990 et 2004

<i>Exprimé en MTEp</i>	1990	1998	2004	Variation 1990-2004	Part relative en 1990 ⁽¹⁾	Part relative en 2004 ⁽¹⁾
<i>Combustibles solides</i>	54,1	25,9	15,7	-71%	26%	7%
<i>Pétrole</i>	92,8	134,5	96,9	4%	45%	43%
<i>Gaz</i>	40,9	81,2	86,4	111%	20%	39%
<i>Nucléaire</i>	16,6	25,8	20,6	24%	8%	9%
<i>Renouvelables</i>	1,1	2,3	3,5	218%	1%	2%
<i>Autres (déchets indus.)</i>	-	0,1	-	-	-	-
Total production	205,5	269,7	223,1	9%	-	-
Total approvisionnement	211,1	230,3	232,1	10%		
Production/approv.	97%	117%	96%			

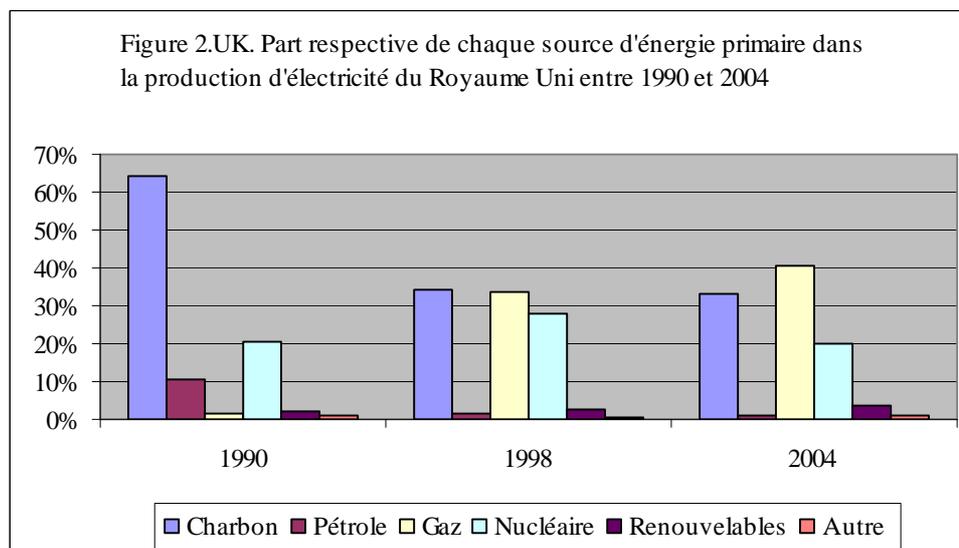
(1) Part relative de chaque énergie dans la production totale d'énergies primaires

Du fait de ses dotations naturelles en ressources, le Royaume Uni présente un ratio production/approvisionnement quasiment deux fois supérieur à la moyenne européenne (51% pour l'UE-15 en 2004).

La décroissance la plus significative dans la production d'énergies primaires concerne le charbon, évolution qu'il faut mettre en parallèle avec la progression de la production de gaz naturel. La transition vers le gaz naturel dans la production nationale s'est accélérée avec l'objectif de réduction des émissions de CO₂. Les centrales au gaz fonctionnent à rendement énergétique élevé et se caractérisent par un impact environnemental bien plus faible que les centrales au charbon.

Le nucléaire a légèrement progressé sur la période. La production de pétrole s'est stabilisée. La plus nette progression concerne les énergies renouvelables, mais les efforts à entreprendre sont encore considérables pour que ces énergies atteignent un niveau proche de la moyenne européenne (13%).

2.2.8.3. La production d'électricité



<i>La substitution du gaz au charbon</i>	En 1990, le charbon intervenait pour 2/3 dans la production d'électricité. Cette part s'est considérablement réduite et le charbon compte en 2004 pour seulement 33% dans cette production. Le gaz s'est substitué au charbon, sa part dans la production d'électricité passant de 2% en 1990 à 40% en 2004.
<i>Le maintien du nucléaire</i>	Après une augmentation de sa part dans les années 1990, le nucléaire a retrouvé son niveau de 1990 (autour de 20%). Cette énergie reste significative dans la production d'électricité du Royaume Uni, contrairement au pétrole qui n'intervient quasiment plus dans la production d'électricité.
<i>Le faible rôle des renouvelables</i>	Bien qu'ayant progressé, les énergies renouvelables sont à l'origine de seulement 4% de la production d'électricité en 2004 (contre 2% en 1990). Leur part est amenée à augmenter dans les années qui viennent, les objectifs de réduction des émissions, de sécurité de l'approvisionnement et de compétitivité à long terme définissant désormais les orientations de la politique énergétique.

2.2.8.4. La dépendance énergétique et les importations nettes

Tableau 2.UK : Dépendance énergétique du Royaume Uni entre 1990 et 2004

1990	1994	1998	2004
3%	-14%	-16%	5%

Le pic de production pour le pétrole et le gaz ayant été observé respectivement en 1999 et 2000 en Mer du Nord, le Royaume Uni est devenu un importateur net, après avoir été longtemps exportateur net d'énergies primaires.

Tableau 3.UK : Importations d'énergie du Royaume Uni entre 1990 et 2004

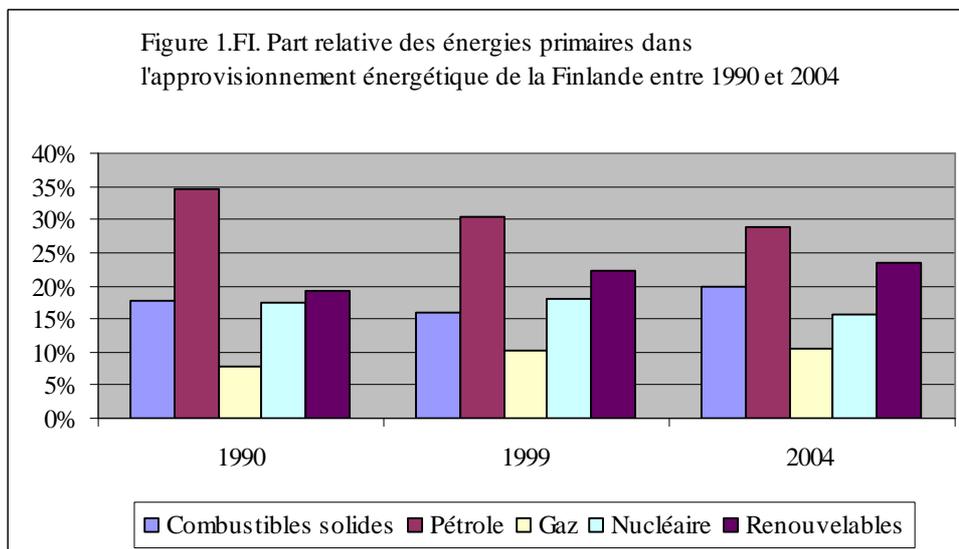
	1990	1994	1998	2004	Variation 1990-2004
<i>Combustibles solides</i>	9,1	9,3	14,4	22,6	148%
<i>Pétrole</i>	-10,4	-42,6	-50,3	-12,8	23%
<i>Gaz</i>	6,2	1,8	-1,6	1,5	-76%
<i>Electricité</i>	1	1,5	1,1	0,6	-40%
Total	5,9	-30	-36,4	12,1	105%

Exprimé en Mtep

On observe sur la période la plus nette progression pour les importations de combustibles solides, ce qui est logique en raison de la réduction drastique de la production de cette énergie. De la même manière que pour l'Allemagne, le Royaume Uni a largement diminué sa production nationale de charbon, et se tourne résolument vers le charbon importé.

2.2.9. Le cas de la Finlande

2.2.9.1. L'approvisionnement en énergies primaires



<i>Une part importante des renouvelables</i>	Le système énergétique finlandais est le plus diversifié en Europe, chaque type d'énergies primaires étant significativement représenté dans l'approvisionnement. La particularité du pays est la part considérable des énergies renouvelables (23% en 2004, et déjà 19% en 1990 contre 6% pour la moyenne européenne). Le pays est historiquement étroitement lié au développement du secteur forestier. Outre la biomasse, l'énergie hydraulique est également bien présente.
<i>Des énergies fossiles bien présentes</i>	Les énergies fossiles représentent environ 60% de l'approvisionnement sur la période. Le pétrole domine mais le gaz naturel progresse depuis les années 1980, avec l'extension des réseaux vers la Russie, cette énergie primaire étant réputée pour son caractère environnemental et son coût plus faible. Toutefois, la hausse du prix du gaz naturel a fait du bois et de la tourbe des énergies plus compétitives.
<i>Un rôle significatif du nucléaire</i>	Le nucléaire est également bien représenté, avec une part relativement stable depuis 1990 de plus de 15% de l'approvisionnement (ce qui est très proche de la moyenne européenne).

2.2.9.2. La production d'énergies primaires

Tableau 1.FI : Production d'énergies primaires de la Finlande entre 1990 et 2004

Exprimé en MTEp	1990	1998	2004	Variation 1990-2004	Part relative en 1990 ⁽¹⁾	Part relative en 2004 ⁽¹⁾
Combustibles solides	1,5	0,4	0,8	-47%	12%	5%
Pétrole	0,0	0,1	0,2	-	0%	1%
Gaz	-	-	-	-	-	-
Nucléaire	5,0	5,4	5,9	17%	43%	37%
Renouvelables	5,3	7,3	8,9	68%	45%	56%
Autres (déchets indus.)	0,0	0,2	0,2	-	0%	1%
Total production	11,7	13,3	15,9	36%		
Total approvisionnement	28,7	33,2	37,7			
Production/approv.	41%	40%	42%			

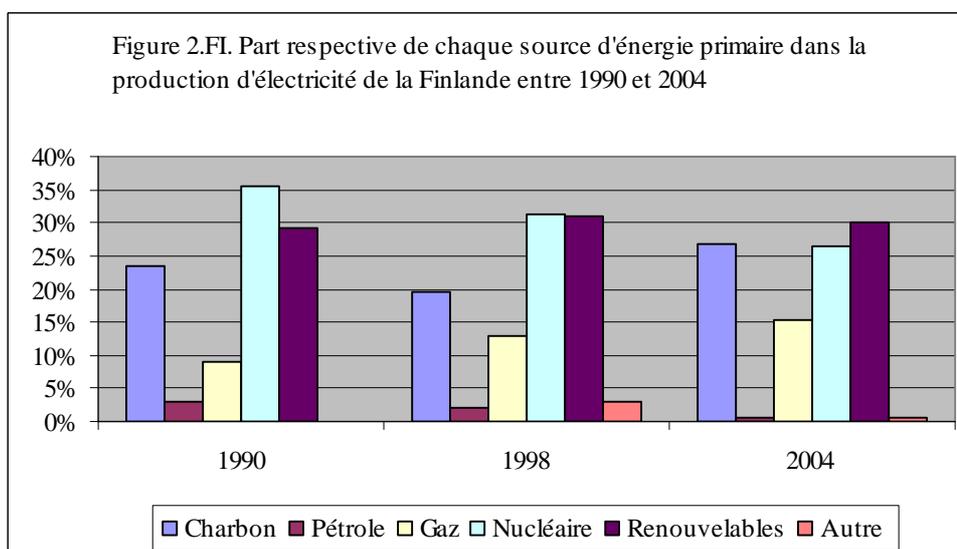
(1) Part relative de chaque énergie dans la production totale d'énergies primaires

Le développement des énergies renouvelables est une composante clé de la production d'énergies primaires en Finlande. Il s'agit de répondre à des objectifs environnementaux, mais également à des préoccupations de sécurité énergétique puisque l'hydraulique et la biomasse (avec la tourbe) sont les seules ressources énergétiques disponibles nationalement. Le pays ne dispose d'aucune ressource en énergies fossiles.

Le récent programme finlandais relatif aux énergies renouvelables inclut les bioénergies, l'hydraulique, l'éolien et le solaire bien qu'une grande partie des efforts soient concentrés sur la biomasse. Jusqu'à présent, les biocarburants sont restés relativement insignifiants, malgré le débat qu'a pu susciter la directive européenne sur le sujet.

Le ratio production/approvisionnement est plus faible que la moyenne européenne (51% en 2004). Ceci est dû à la faiblesse de la dotation naturelle en ressources. De plus, par rapport à un pays comme la France qui n'a pas de ressources mais un poids déterminant du nucléaire, la part du nucléaire dans la production d'énergie finlandaise est plus équilibrée. A moyen ou long terme, l'équilibre des parts relatives des différentes énergies est un atout, en terme de sécurité d'approvisionnement et de réduction des risques énergétiques.

2.2.9.3. La production d'électricité



<i>L'efficacité des centrales thermiques</i>	Les centrales thermiques jouent un rôle majeur dans le système énergétique finlandais, le charbon, la biomasse, le gaz naturel et la tourbe intervenant comme combustibles. Les centrales thermiques fournissent 38% de l'électricité produite en Finlande, plaçant le pays en seconde position en Europe dans ce domaine. Les centrales ont une haute efficacité énergétique (83%). La valorisation énergétique est particulièrement efficace. La chaleur et l'électricité sont distribuées vers l'industrie. Les ressources sont également suffisantes pour approvisionner le secteur résidentiel, malgré la rigueur du climat. La capacité thermique a augmenté d'un tiers depuis 1990.
<i>Le rôle stratégique du nucléaire</i>	Le nucléaire est également considéré comme une énergie clé du fait qu'il permet de fournir de l'électricité à un prix compétitif, et réduit la dépendance énergétique, sans contribuer aux émissions de gaz à effet de serre. Quatre réacteurs alimentent le pays et un cinquième est en construction.
<i>L'importance de l'hydroélectricité</i>	De même que la Norvège et la Suède, les ressources hydrauliques sont abondantes en Finlande. Toutefois, depuis 1987, le développement de la capacité hydraulique s'est ralenti pour des raisons de préservation de l'environnement. L'hydroélectricité constitue encore une part significative de la production d'électricité, et cette part ne devrait pas considérablement diminuer du fait des préoccupations de sécurité énergétique et de changement climatique. Les énergies renouvelables représentent 30% de l'électricité produite en Finlande, ce qui est très proche de l'objectif fixé par la directive sur les énergies renouvelables fixant pour 2010 une part des renouvelables de 31,5%.
<i>Le rôle central des échanges entre pays nordiques</i>	Le marché de l'électricité a été libéralisé durant la période 1995-1997, date à partir de laquelle l'électricité s'échange via le marché spot, les marchés financiers et au moyen de contrats bilatéraux. Les marchés spot et financiers sont organisés autour du <i>Nordpool</i> , formalisant les échanges d'électricité entre pays nordiques (Norvège, Suède, Finlande et Danemark). Les fluctuations de la capacité d'hydroélectricité disponible en Suède et en Norvège conditionnent fortement le niveau et la structure de la production d'électricité en Finlande.

2.2.9.4. La dépendance énergétique et les importations nettes

Tableau 2.FI : Dépendance énergétique de la Finlande entre 1990 et 2004

1990	1994	1998	2004
62%	66%	54%	54%

En matière de dépendance énergétique, la Finlande a nettement progressé, puisque son taux de dépendance était bien supérieur à la moyenne européenne au début des années 1990 (62% contre 49%), pour être aujourd'hui légèrement inférieur (54% contre 55%).

Les importations totales ont augmenté de 15% sur la période, mais dans le même temps, les efforts entrepris en matière de production d'énergies primaires (+68% pour les renouvelables) ont permis de réduire la dépendance énergétique du pays.

L'accroissement des importations de combustibles solides tient au choix de réduire très nettement la production, pour des considérations environnementales. La plus forte augmentation est celle du gaz importé, cette énergie ayant accru le mix énergétique de la Finlande dont les performances en matière de diversification étaient déjà remarquables.

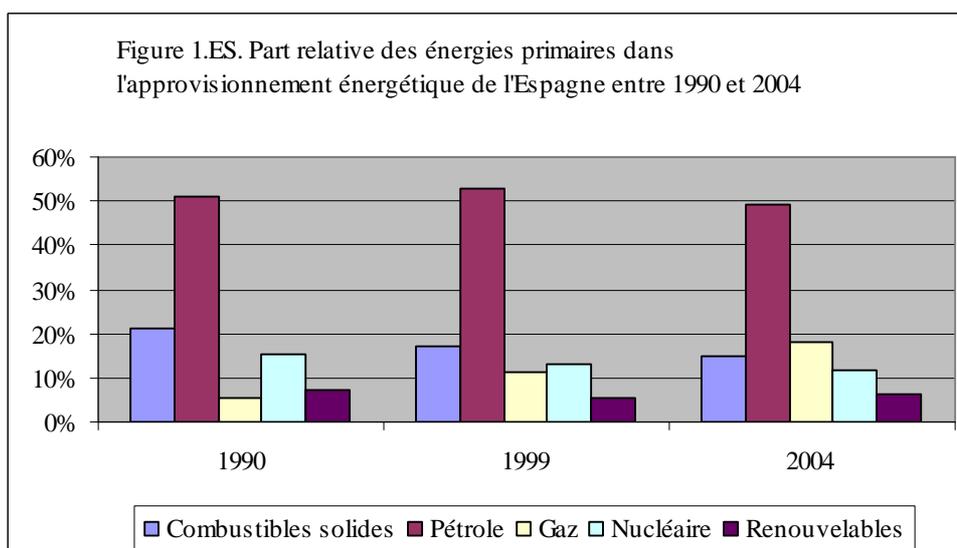
Tableau 3.FI : Importations d'énergie de la Finlande entre 1990 et 2004

	1990	1994	1998	2004	Variation 1990-2004
<i>Combustibles solides</i>	4,4	5,2	3,2	5,5	26%
<i>Pétrole</i>	10,5	11,8	11,0	11,0	5%
<i>Gaz</i>	2,3	2,8	3,3	4,0	75%
<i>Electricité</i>	0,9	0,6	0,8	0,4	-54%
Total	18,0	20,5	18,3	20,8	15%

Exprimé en Mtep

2.2.10. Le cas de l'Espagne

2.2.10.1. L'approvisionnement en énergies primaires



<i>La prédominance du pétrole</i>	La forte croissance économique qu'a connue l'Espagne depuis deux décennies s'est traduite par une augmentation significative de la consommation énergétique. Cette hausse a d'abord été relayée par une élévation du niveau des importations ; on observe sur la période en termes d'approvisionnement la prédominance du pétrole, dont la part avoisine les 50% sur toute la période. Cela s'explique à la fois par une demande de mobilité croissante et la dépendance en pétrole d'autres secteurs que le transport, qui font que cette part est supérieure à la moyenne européenne (environ 50% contre 39% pour l'UE-15).
<i>La stabilité des renouvelables et du nucléaire</i>	Le pays a su développer des infrastructures énergétiques pour faire face à l'accroissement de la demande et prendre en considération les questions de sécurité des approvisionnements et de changement climatique. Le développement des énergies renouvelables s'est maintenu depuis 10 à 15 ans, essentiellement les biocarburants et l'éolien, l'ensemble des renouvelables représentant environ 7% sur la période (légèrement supérieur à la moyenne européenne). L'énergie nucléaire occupe une bonne place dans l'approvisionnement, sa contribution dans l'approvisionnement énergétique s'étant maintenu autour de 13% (proche de la moyenne européenne).
<i>La progression du gaz naturel</i>	La plus nette progression concerne le gaz naturel, comme dans la plupart des pays européens, sa part étant passée de 5% en 1990 à près de 20% en 2004. Cette progression est à mettre en parallèle avec la diminution de la contribution des combustibles solides à cet approvisionnement (15% en 2004 contre 28% en 1985).

2.2.10.2. La production d'énergies primaires

Tableau 1.ES : Production d'énergies primaires de l'Espagne entre 1990 et 2004

	1990	1998	2004	Variation 1990-2004	Part relative en 1990 ⁽¹⁾	Part relative en 2004 ⁽¹⁾
<i>Combustibles solides</i>	11,7	9,3	6,5	-45%	35%	20%
<i>Pétrole</i>	0,8	0,5	0,3	-68%	2%	1%
<i>Gaz</i>	1,3	0,1	0,3	-76%	4%	1%
<i>Nucléaire</i>	13,7	14,4	16,4	20%	41%	51%
<i>Renouvelables</i>	6,3	6,9	9,0	43%	19%	28%
<i>Autres (déchets indus.)</i>	0,0	0,2		-100%	0%	0%
Total production	33,7	31,5	32,4	-4%		
Total approvisionnement	89,4	111,1	140,3	57%		
Production/approv.	38%	28%	23%			

Exprimé en MTep

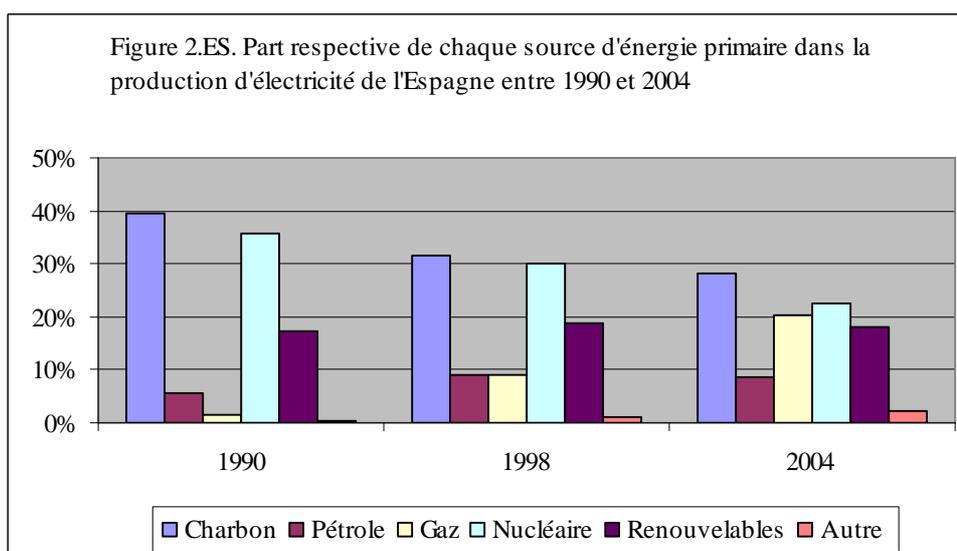
(1) Part relative de chaque énergie dans la production totale d'énergies primaires

On observe une réduction de moitié de la production de combustibles solides, que ne compense pas la progression du nucléaire. Du fait de la pauvreté en énergies fossiles (pétrole,

gaz naturel), le ratio production/approvisionnement a nettement diminué depuis 1990. Par ailleurs, ce ratio est plus de deux fois moins élevé que la moyenne de l'UE-15 (51% en 2004).

En 2004, l'Espagne était le second plus gros producteur d'énergie éolienne dans le monde après l'Allemagne. Sa capacité installée est considérable, et ses projets de développement le sont également. La croissance du marché du photovoltaïque est également à noter sur la période, notamment grâce à un système de prix garantis au niveau national et régional. L'Espagne est également l'un des plus gros producteurs de biocarburants en Europe.

2.2.10.3. La production d'électricité



<i>Un poids déterminant du nucléaire</i>	Bien que le nucléaire, l'hydroélectricité et les combustibles solides aient augmenté en valeur absolue, leur part respective dans la production d'électricité a diminué sur la période. Le nucléaire représente cependant près d'un quart de la production d'électricité et est considérée comme une ressource clé dans un pays qui ne dispose pas d'énergies fossiles (gaz naturel et pétrole) et qui poursuit comme ses partenaires des objectifs de réduction des émissions de carbone. Neuf réacteurs en activité composent le parc nucléaire de l'Espagne à l'heure actuelle.
<i>La forte croissance de l'éolien</i>	L'éolien a également nettement progressé et de 0%, sa contribution à la production d'électricité est passée à 6% en 2004. La capacité installée des éoliennes s'élevait à 12% de la capacité installée totale en 2004 (contre respectivement 11% et 26% de cette capacité installée totale pour le nucléaire et l'hydroélectricité).
<i>Le rôle des centrales thermiques</i>	Les centrales thermiques représentent encore environ 50% de la capacité installée. Dans les années récentes, on observe un tournant avec la substitution progressive du gaz naturel au charbon, et la construction de centrale à cycle combiné au gaz. Le gaz naturel qui représentait 1% de la production d'électricité en 1990 représente en 2004 20% de cette production.

2.2.10.4. La dépendance énergétique et les importations nettes

Tableau 2.ES : Dépendance énergétique de l'Espagne entre 1990 et 2004

1990	1994	1998	2004
64%	68%	75%	77%

Tableau 3.ES : Importations d'énergie de l'Espagne entre 1990 et 2004

	1990	1994	1998	2004	Variation 1990-2004
<i>Combustibles solides</i>	7,0	7,6	8,8	14,2	101%
<i>Pétrole</i>	49,2	54,2	66,4	75,5	54%
<i>Gaz</i>	3,7	6,5	12,1	24,6	567%
<i>Electricité</i>	0,0	0,2	0,3	-0,3	550%
Total	59,9	68,4	87,6	114,1	91%

Exprimé en Mtep

L'Espagne dispose d'importantes réserves de combustibles solides, mais sur des gisements de petite taille, relativement isolés empêchant le développement d'une stratégie efficace de réalisation d'une capacité fiable pour le futur. La production s'est réduite de moitié, ce qui explique la forte progression des exportations.

Le marché du gaz de l'Espagne est un de ceux qui s'est le plus développé ces dernières années, principalement lié à l'introduction à grande échelle de centrales à cycle combiné au gaz. Des efforts ont été entrepris pour diversifier les sources d'approvisionnement, d'une part en développant les infrastructures pour se connecter au réseau européen (bien qu'étant avec le Portugal en bout de chaîne), d'autre part en développant une stratégie d'ouverture vers le gaz nord-africain et de gaz importé sous forme liquéfié.

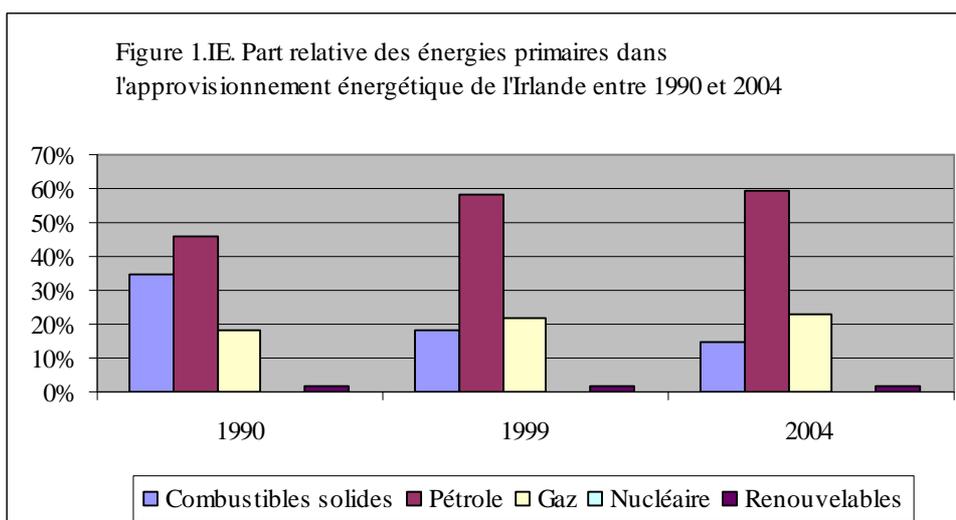
On observe également la forte croissance des importations de pétrole.

Ces différentes évolutions expliquent que la dépendance énergétique se soit dégradée sur la période, et se situe bien au dessus de la moyenne européenne (77% contre 55% pour l'Europe des 15 en 2004).

2.2.11. Le cas de l'Irlande

2.2.11.1. L'approvisionnement en énergies primaires

Les trois principaux défis à relever par l'Irlande au niveau de sa politique énergétique sont une forte dépendance énergétique, une croissance rapide de la demande d'énergie dans le transport et un taux relativement élevé d'émissions de gaz à effet de serre.



<i>La prédominance des énergies fossiles</i>	L'approvisionnement est quasi-exclusivement centré sur les énergies fossiles. La part du pétrole a fortement progressé sur la période, passant de 45% à près de 60% en 2004 (contre 39% pour l'Europe des 15). Le charbon et le gaz naturel assurent le reste de la fourniture énergétique de l'Irlande. Les énergies fossiles représentent 98% de l'approvisionnement.
<i>L'absence du nucléaire</i>	L'Irlande ne dispose d'aucune ressource d'énergie nucléaire dans son approvisionnement.
<i>Un renouvelable en devenir</i>	Les énergies renouvelables restent marginales dans l'approvisionnement (environ 2%, part qui n'a pas augmenté sur la période et bien en deçà de la moyenne européenne qui s'élevait à 6% en 2004).

2.2.11.2. La production d'énergies primaires

Tableau 1.IE : Production d'énergies primaires de l'Irlande entre 1990 et 2004

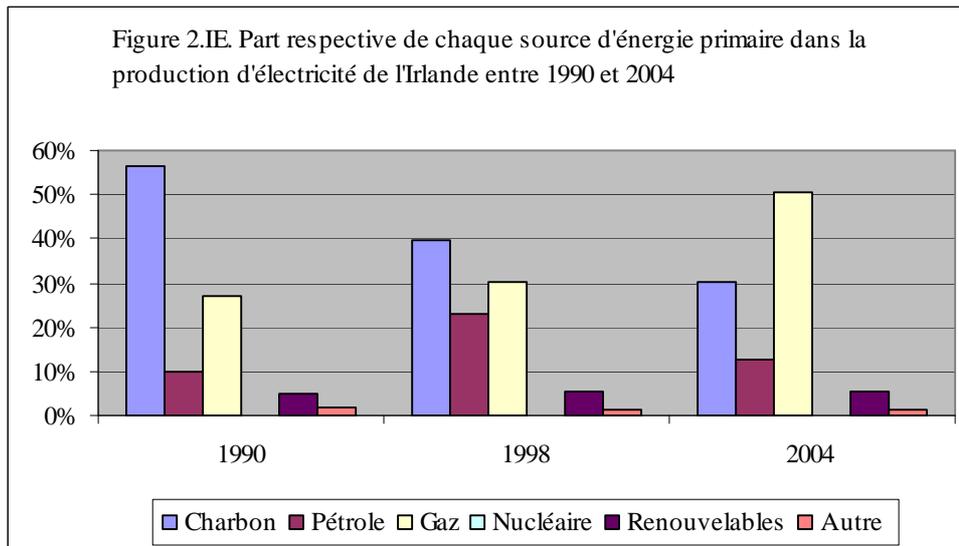
	1990	1998	2004	Variation 1990-2004	Part relative en 1990 ⁽¹⁾	Part relative en 2004 ⁽¹⁾
<i>Combustibles solides</i>	1,5	0,8	0,9	-39%	42%	47%
<i>Pétrole</i>						
<i>Gaz</i>	1,9	1,4	0,7	-63%	54%	36%
<i>Nucléaire</i>						
<i>Renouvelables</i>	0,2	0,3	0,3	88%	5%	17%
<i>Autres (déchets indus.)</i>						
Total production	3,5	2,5	1,9	-46%		
Total approvisionnement	10,4	13,1	15,7			
Production/approv.	34%	19%	12%			

Exprimé en MTep

(1) Part relative de chaque énergie dans la production totale d'énergies primaires

L'Irlande ne produit quasiment pas d'énergies primaires. La faiblesse en ressources fossiles et l'absence du nucléaire doit amener l'Irlande à développer les énergies renouvelables. Sa capacité hydraulique atteint un seuil limite. En revanche, elle dispose d'un potentiel en matière d'énergie éolienne, solaire et de biomasse. La conséquence est un ratio production/approvisionnement qui est passé de 34 à 12% sur la période 1990-2004. Sur la même période, ce ratio passait de 57% à 51% pour l'Europe des 15.

2.2.11.3. La production d'électricité



<p><i>Le gaz domine dans la production d'électricité</i></p>	<p>Le marché de l'électricité irlandais est très différent des autres marchés en Europe, par sa petite taille et une intégration limitée au marché européen. La production d'électricité est désormais majoritairement produite à partir de gaz (27% en 1990, 50% en 2004). Les combustibles solides représentent 30% de la production d'électricité en 2004 (56% en 1990), et le pétrole, 13%. Le charbon a longtemps été considéré comme un carburant de substitution au pétrole permettant de réduire la dépendance énergétique. Les nouvelles recommandations du protocole Kyoto ont nécessité pour l'Irlande de travailler à la construction d'infrastructures faiblement émettrices en carbone. Toutefois, une nouvelle infrastructure fonctionnant à partir de tourbe a vu le jour en 2005. La tourbe représente environ 5% de l'approvisionnement énergétique.</p>
<p><i>La croissance des énergies renouvelables</i></p>	<p>Plus de 5% de l'électricité produite provient d'énergies renouvelables. Cette part devrait augmenter dans un futur assez proche, l'Irlande s'étant donné pour objectif d'atteindre 15% de sa consommation d'électricité produite à partir d'énergies renouvelables en 2010 et 30% d'ici 2020. L'hydroélectricité est historiquement importante mais les nouveaux besoins énergétiques du pays révèlent l'insuffisance de cette ressource. L'éolien (terrestre et off-shore) ainsi que la biomasse offrent des perspectives intéressantes pour les 20 ans à venir. L'Irlande a plus que doublé sa capacité éolienne entre 2004 et 2006.</p>

2.2.11.4. La dépendance énergétique et les importations nettes

Tableau 2.IE : Dépendance énergétique de l'Irlande entre 1990 et 2004

1990	1994	1998	2004
68%	65%	80%	87%

De par sa pauvreté en ressources énergétiques et du fait de sa situation insulaire, l'Irlande se caractérise par une forte dépendance énergétique, qui atteint 87% en 2004 contre 65% en 1990 (la moyenne européenne en 2004 était de 55%). C'est également un pays qui a connu une forte croissance économique sur la dernière décennie et dont les besoins énergétiques sont en constante augmentation.

Par ailleurs, la géographie de ses infrastructures énergétiques est spécifique par rapport au reste de l'Europe. Le pays se situe géographiquement à l'extrémité de la chaîne d'approvisionnement gazière de l'Ouest de l'Europe, que le gaz provienne de Russie ou d'Afrique du Nord. Par ailleurs, il manque d'infrastructures permettant l'importation de gaz sous forme liquéfiée. Concernant le secteur électrique, la plupart de sa capacité est concentrée sur une partie de la côte est.

Ce sont les importations de pétrole et de gaz qui ont le plus progressé sur la période.

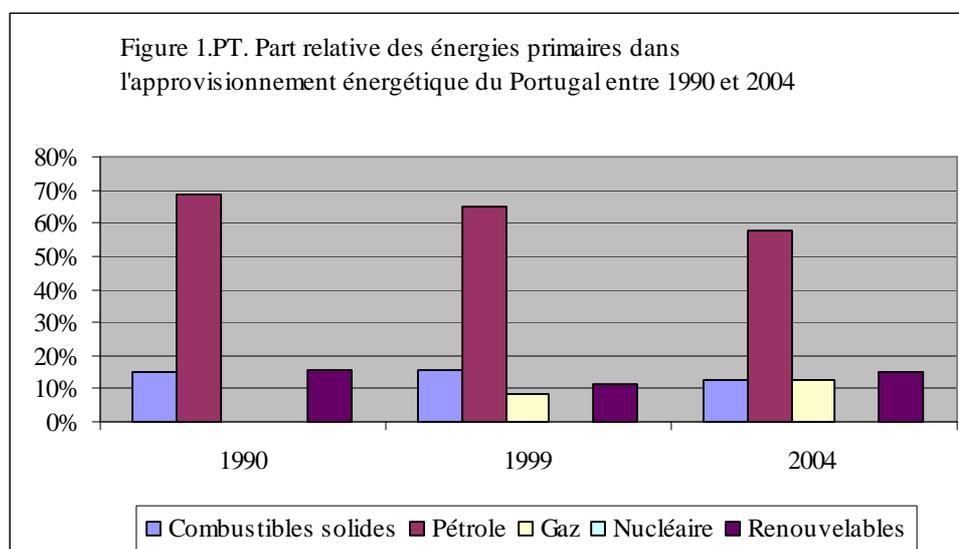
Tableau 3.IE : Importations d'énergie de l'Irlande entre 1990 et 2004

<i>Exprimé en Mtep</i>	1990	1994	1998	2004	Variation 1990-2004
<i>Combustibles solides</i>	2,1	1,5	1,8	1,8	-14%
<i>Pétrole</i>	5,0	5,5	7,4	8,8	76%
<i>Gaz</i>			1,4	3,0	111% ⁽¹⁾
<i>Electricité</i>			0,0	0,1	
Total	7,1	7,1	10,6	13,7	93%

(1) entre 1998 et 2004

2.2.12. Le cas du Portugal

2.2.12.1. L'approvisionnement en énergies primaires



<i>La montée en puissance du gaz naturel</i>	Comme beaucoup de pays européens, les énergies fossiles constituent la plus grande part de l’approvisionnement énergétique du Portugal (83% contre 78% pour la moyenne européenne). Le gaz est apparu en 1997 dans cet approvisionnement, et sa part a considérablement progressé depuis, notamment du fait de l’amélioration de ses infrastructures, en particulier le terminal de GNL de Sines (en fonctionnement depuis 2003) et le gazoduc reliant la péninsule ibérique au gaz naturel algérien. Les parts respectives du pétrole et des combustibles fossiles ont légèrement régressé sur la période 1990-2004. Le pétrole représente toujours 55% de l’approvisionnement.
<i>Un bon positionnement des énergies renouvelables</i>	En comparaison de la moyenne européenne (5% en 1990 et 6% en 2004), le Portugal est historiquement très bien positionné en matière d’énergies renouvelables dans son approvisionnement, puisque leur part s’élève environ à 15% sur toute la période. La biomasse représente 11% de l’approvisionnement global, la moitié étant à usage industriel. Les ménages et les centrales thermiques consomment respectivement 40% et 14% de la biomasse produite.
<i>L’absence du nucléaire</i>	Le nucléaire est absent de l’approvisionnement énergétique du Portugal.

2.2.12.2. La production d’énergies primaires

Tableau 1.PT : Production d’énergies primaires du Portugal entre 1990 et 2004

	1990	1998	2004	Variation 1990-2004	Part relative en 1990 ⁽¹⁾	Part relative en 2004 ⁽¹⁾
<i>Combustibles solides</i>	0,1			-100%	4%	0%
<i>Pétrole</i>					0%	0%
<i>Gaz</i>					0%	0%
<i>Nucléaire</i>					0%	0%
<i>Renouvelables</i>	2,7	3,0	3,9	45%	96%	100%
<i>Autres (déchets indus.)</i>			0,0		0%	0%
Total production	2,8	3,0	3,9	39%		
Total approvisionnement	16,9	22,3	26,2			
Production/approv.	17%	14%	15%			

Exprimé en MTep

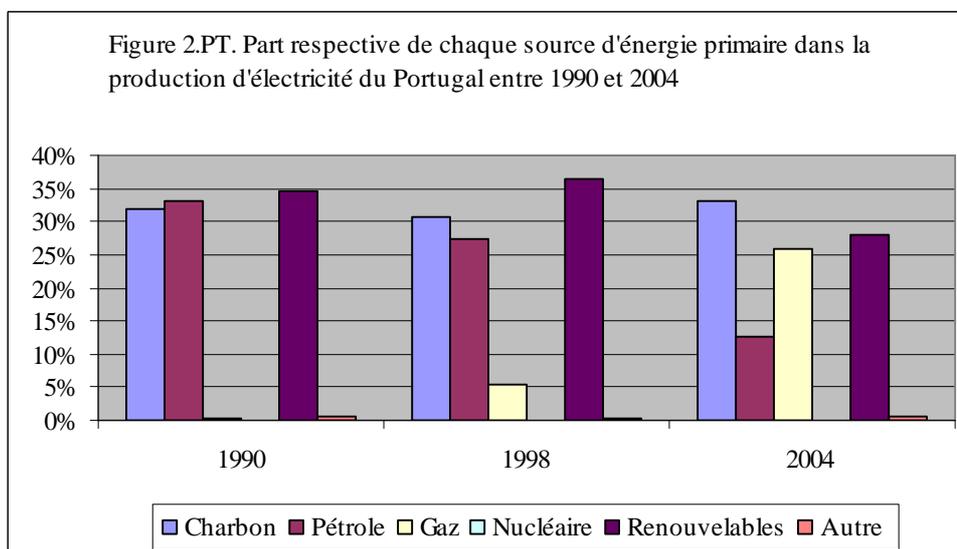
(1) Part relative de chaque énergie dans la production totale d’énergies primaires

L’hydroélectricité constitue l’énergie primaire la plus abondante sur le plan national, en l’absence de nucléaire et d’énergies fossiles. Des investissements considérables ont été entrepris dans les dernières années, principalement sur l’éolien et le solaire.

Concernant l’éolien, le Portugal a accru sa capacité de parcs en développant les infrastructures existantes sur le continent, aux Açores et à Madère.

Ces efforts ne permettent évidemment pas de compenser la faiblesse des dotations naturelles du pays en énergies fossiles ; le ratio production/approvisionnement est bien inférieur à la moyenne européenne (51% pour l'UE-15 en 2004).

2.2.12.3. La production d'électricité



<i>Le poids historique des renouvelables</i>	Un cinquième de l'électricité produite provient de l'hydroélectricité. La grande hydraulique domine la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables. L'éolien progresse également dans cette fourniture d'électricité. Le gouvernement a imposé un nouveau système de tarifs incitatifs sur l'électricité produite à partir d'énergies renouvelables afin de promouvoir le développement de nouveaux projets d'investissement dans le domaine.
<i>La progression du gaz naturel</i>	La plus grosse progression est celle du gaz naturel puisque cette énergie alimente désormais plus d'un quart de la production d'électricité, se substituant progressivement au pétrole, voire même aux renouvelables dont la part relative est de 28% contre 37% en 1990.
<i>Les combustibles solides, première source d'énergie</i>	Les combustibles solides représentent l'énergie la plus utilisée pour produire de l'électricité, ayant successivement dépassé le pétrole puis les énergies renouvelables en termes de part respective. La production d'électricité au Portugal se fait sans l'énergie nucléaire.

2.2.12.4. La dépendance énergétique et les importations nettes

Tableau 2.PT : Dépendance énergétique du Portugal entre 1990 et 2004

1990	1994	1998	2004
87%	84%	86%	84%

En matière de dépendance énergétique, la situation du Portugal n'a guère évolué depuis les années 1990. Elle est toujours bien supérieure à la moyenne européenne (84% contre 55% en 2004 pour l'UE-15).

Très logiquement, par rapport à ce que l'on observe sur l'approvisionnement, les importations de gaz naturel ont triplé entre 1998 et 2004, cette énergie devenant de plus en plus déterminante dans la production énergétique du Portugal. Les importations de pétrole et de combustibles solides ont légèrement augmenté sur la période. Les efforts sur le renouvelable ne permettent pas de compenser ces évolutions.

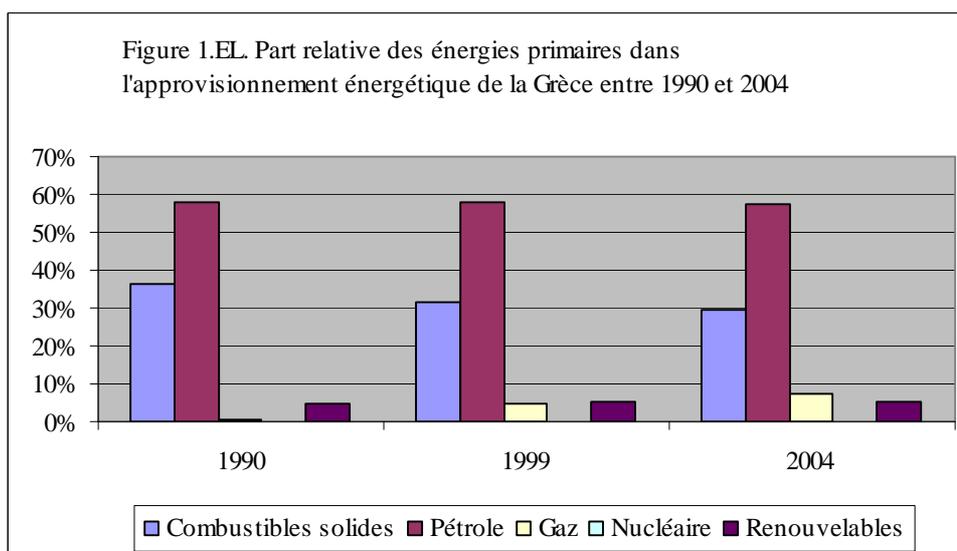
Tableau 3.PT : Importations d'énergie du Portugal entre 1990 et 2004

	1990	1994	1998	2004	Variation 1990-2004
<i>Combustibles solides</i>	2,8	3,2	3,2	3,2	16%
<i>Pétrole</i>	12,4	12,7	15,5	15,4	24%
<i>Gaz</i>			0,7	3,3	371% ⁽¹⁾
<i>Electricité</i>	0,0	0,1	0,0	0,6	
Total	15,2	16,0	19,4	22,4	48%

*Exprimé en Mtep
(1) entre 1998 et 2004*

2.2.13. Le cas de la Grèce

2.2.13.1. L'approvisionnement en énergies primaires



<i>Le rôle central du pétrole et des combustibles solides</i>	Le système énergétique de la Grèce se caractérise traditionnellement par un attachement aux énergies conventionnelles, pétrole et combustibles solides, qui représentent 95% environ de l’approvisionnement énergétique du pays. Le gaz naturel a progressivement émergé, permettant au pays de se diversifier, mais il reste encore marginal dans cet approvisionnement (7% en 2004).
<i>L’absence de progression des renouvelables</i>	La part des énergies renouvelables est stable sur la période et se situe dans la moyenne européenne.
<i>L’absence du nucléaire</i>	La Grèce a fait le choix de se passer de l’énergie nucléaire dans son approvisionnement.

2.2.13.2. La production d’énergies primaires

Tableau 1.EL : Production d’énergies primaires de la Grèce entre 1990 et 2004

	1990	1998	2004	Variation 1990-2004	Part relative en 1990 ⁽¹⁾	Part relative en 2004 ⁽¹⁾
<i>Combustibles solides</i>	7,1	8,4	8,6	21%	77%	83%
<i>Pétrole</i>	0,8	0,3	0,1	-84%	9%	1%
<i>Gaz</i>	0,1	0,0	0,0	-79%	2%	0%
<i>Nucléaire</i>				-	0%	0%
<i>Renouvelables</i>	1,1	1,3	1,6	42%	12%	15%
<i>Autres (déchets indus.)</i>				-	0%	0%
Total production	9,2	10,0	10,3	12%		
Total approvisionnement	22,3	26,9	30,6			
Production/approv.	41%	37%	34%			

Exprimé en MTep

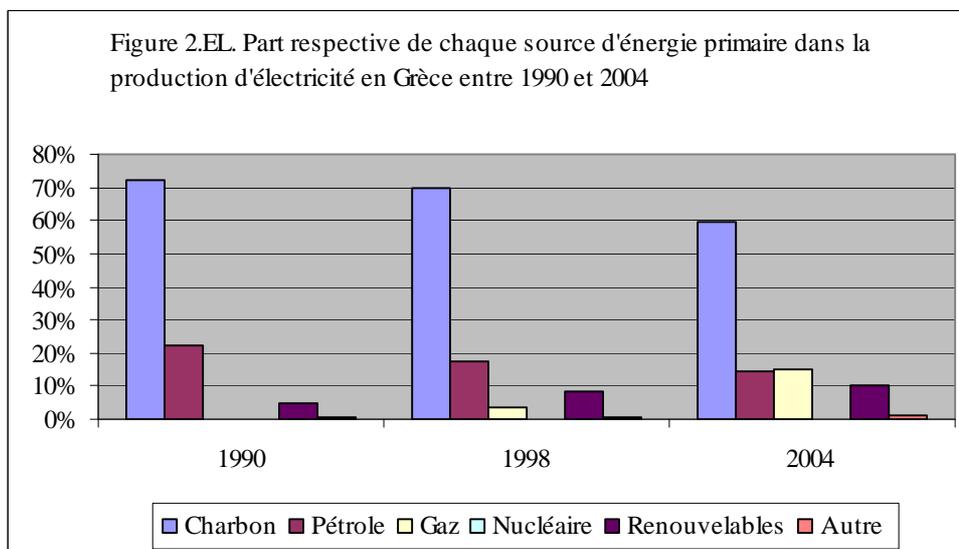
(1) Part relative de chaque énergie dans la production totale d’énergies primaires

La Grèce ne dispose d’aucune ressource en pétrole et gaz naturel.

Contrairement à d’autres pays qui se sont désengagés des combustibles solides à la fois dans leur production et leur approvisionnement, la Grèce n’a pas suivi cette voie et bien que le gaz naturel puisse désormais être envisagé comme une énergie de substitution, la production des combustibles solides a progressé sur la période 1990-2004.

Cette évolution ne suffit pas à limiter la diminution du ratio production/approvisionnement, du fait de la croissance bien supérieure des besoins énergétiques et donc de l’approvisionnement en énergies primaires. Le ratio est nettement inférieur à la moyenne européenne.

2.2.13.3. La production d'électricité



<i>La prédominance du charbon</i>	Le charbon constitue de loin la principale source d'énergie dans la production d'électricité. De 73% en 1990, sa part représente toujours 60% en 2004, contre 20% pour la moyenne européenne. Le pétrole est également bien présent. Bien que leurs parts respectives aient diminué et qu'elles représentent désormais 75% des sources d'énergie de l'électricité, contre 95% en 1990, la dépendance de la production d'électricité vis-à-vis du pétrole et surtout du charbon est toujours forte, et empêche la Grèce de satisfaire aux critères de réduction des émissions de CO ₂ .
<i>Une part encore marginale du gaz naturel et des renouvelables</i>	La progression du gaz naturel et des énergies renouvelables dans la production d'électricité montre que la Grèce s'est effectivement engagée dans une phase de restructuration pour réduire sa dépendance vis-à-vis du pétrole et du charbon. Mais ces nouvelles énergies ne constituent ensemble qu'une faible proportion parmi les sources d'énergie de l'électricité (25% contre une moyenne européenne de 40% en 2004).
<i>L'absence du nucléaire</i>	Le nucléaire n'intervient pas dans la production d'électricité de la Grèce.

2.2.13.4. La dépendance énergétique et les importations nettes

Tableau 2.EL : Dépendance énergétique de la Grèce entre 1990 et 2004

1990	1994	1998	2004
62%	59%	70%	73%

La dépendance énergétique de la Grèce est bien supérieure à la moyenne européenne, du fait que le pays n'est doté ni en pétrole ni en gaz naturel et ne s'est pas engagé définitivement sur la voie du renouvelable, comme a pu le faire la Suède. On observe toutefois des efforts dans les années récentes pour tenter d'exploiter les ressources abondantes en solaire et éolien.

On constate une progression régulière et non maîtrisée du pétrole, qui traduit une croissance des besoins sans avoir pu développer des énergies de substitution, dans le secteur des transports notamment. La Grèce ayant diversifié son approvisionnement avec le gaz naturel, cette énergie représente désormais une part non négligeable des importations. Le gaz est amené à progresser dans l'avenir, au vu de la situation géographique de la Grèce qui, avec la construction des réseaux trans-européens et trans-continentaux, acquiert une situation centrale dans les liens qui se nouent entre les marchés européens et ceux d'Europe de l'Est et d'Asie.

Tableau 3.EL : Importations d'énergie de la Grèce entre 1990 et 2004

	1990	1994	1998	2004	Variation 1990-2004
<i>Combustibles solides</i>	1,0	1,0	0,9	0,5	-54%
<i>Pétrole</i>	14,4	14,8	19,4	21,7	51%
<i>Gaz</i>			0,7	2,2	214% ⁽¹⁾
<i>Electricité</i>	0,1	0,0	0,1	0,2	300%
Total					

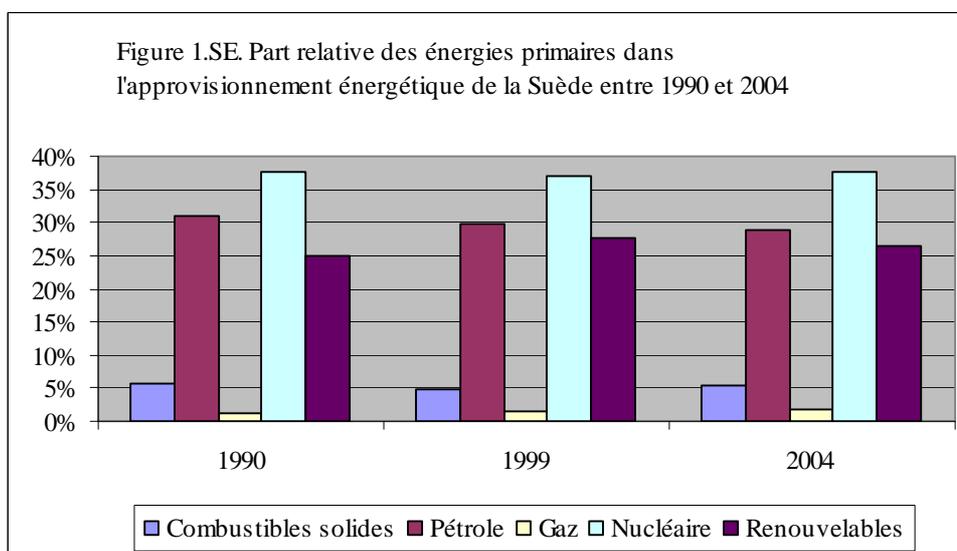
Exprimé en Mtep

(1) entre 1998 et 2004

2.2.14. Le cas de la Suède

2.2.14.1. L'approvisionnement en énergies primaires

La Suède est le seul pays en Europe dont les parts relatives d'énergies primaires dans l'approvisionnement n'ont pratiquement pas évolué depuis 20 ans, montrant la capacité à bien anticiper la croissance de ses besoins énergétiques et les orientations à prendre en matière de sécurité d'approvisionnement et de développement durable.



<i>Le choix du renouvelable</i>	Comme beaucoup de pays européens, la Suède ne dispose pas d'énergies fossiles et elle a su réagir très tôt à cette pauvreté en ressources en tirant partie de ses ressources forestières et en eau, afin de répondre aux défis environnementaux et de sécurité d'approvisionnement. Les énergies renouvelables représentent plus de 25% de l'approvisionnement énergétique du pays depuis déjà longtemps, bien au-delà de la moyenne européenne (5 à 6% pour l'Europe des 15 sur la période). Les projets de grande hydraulique ont été freinés pour limiter l'impact environnemental. Les bio-énergies sont de loin les plus importantes sources d'énergies renouvelables non hydrauliques, représentant près de 17% de l'approvisionnement global en énergie, grâce aux dotations naturelles en forêts mais également en développant la recherche et développement sur la biomasse. Les investissements se sont également portés sur l'énergie éolienne.
<i>L'objectif annoncé d'indépendance vis-à-vis du pétrole</i>	Le pétrole représente toujours près de 30% de l'approvisionnement énergétique de la Suède en 2004. Mais le gouvernement s'est engagé en septembre 2005 à se fixer comme objectif de devenir indépendant des combustibles fossiles à partir de 2020. Une commission sur l'indépendance pétrolière a été créée, chargée de définir les stratégies possibles. Bien évidemment, les résultats déjà obtenus sur le chauffage, où la part des biocarburants atteint 75% contre 15% pour le pétrole et le gaz réunis, seront plus difficiles à atteindre dans le secteur des transports. Le pays s'emploie désormais à développer la filière biocarburant pour le transport privé et public.
<i>Un nucléaire en sursis ?</i>	Le nucléaire est considéré comme une énergie peu chère et peu polluante, et moins sujette à controverse que la grande hydraulique et ses impacts non négligeables sur l'environnement. Toutefois, la catastrophe de Tchernobyl a confirmé l'ambition, déjà présente après l'accident de Three Mile Island en 1978, d'abandonner graduellement l'énergie nucléaire à partir de 2010.

2.2.14.2. La production d'énergies primaires

Tableau 1.SE : Production d'énergies primaires de la Suède entre 1990 et 2004

	1990	1998	2004	Variation 1990-2004	Part relative en 1990 ⁽¹⁾	Part relative en 2004 ⁽¹⁾
<i>Combustibles solides</i>	0,2	0,3	0,4	73%	1%	1%
<i>Pétrole</i>					0%	0%
<i>Gaz</i>					0%	0%
<i>Nucléaire</i>	17,8	18,6	20,0	13%	60%	58%
<i>Renouvelables</i>	11,7	14,3	14,1	20%	39%	41%
<i>Autres (déchets indus.)</i>		0,1	0,0		0%	0%
Total production	29,7	33,3	34,5	16%		
Total approvisionnement	47,2	50,8	53,1			
Production/approv.	63%	65%	65%			

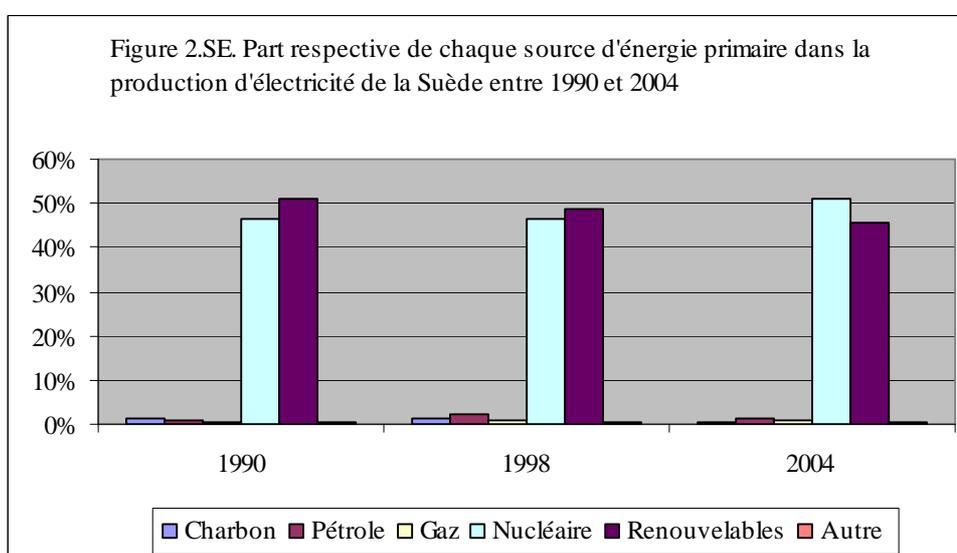
Exprimé en MTep

(1) Part relative de chaque énergie dans la production totale d'énergies primaires

Le ratio production/approvisionnement, bien que supérieur à la moyenne européenne (49% en 2004), est stable sur la période 1990-2004, contrairement à l'évolution dans beaucoup de pays européens où cette part a eu tendance à diminuer, lorsque les pays n'ont pas produit les efforts suffisants sur les renouvelables ou le nucléaire.

En matière de production d'énergies primaires, la Suède ne produit aucune énergie fossile ; la progression la plus sensible est celle des énergies renouvelables, par rapport au nucléaire. Les énergies renouvelables grignotent progressivement la supériorité du nucléaire dans la production d'énergies primaires.

2.2.14.3. La production d'électricité



Le cas de la Suède est assez spécifique en matière de production d'électricité, celle-ci étant produite exclusivement à partir de nucléaire et de renouvelables en proportions identiques. Cette situation traduit les choix énergétiques faits par le pays depuis plusieurs décennies.

2.2.14.4. La dépendance énergétique et les importations nettes

Tableau 2.SE : Dépendance énergétique de la Suède entre 1990 et 2004

1990	1994	1998	2004
38%	40%	38%	37%

Les résultats de la Suède en matière de dépendance énergétique sont très satisfaisants sur toute la période puisque le pourcentage observé depuis 1990 est toujours bien inférieur à la moyenne européenne. Par ailleurs, ce pourcentage est demeuré relativement stable sur la période, contrairement à de nombreux pays dépendants énergétiquement de l'extérieur et qui n'ont pas su faire face aussi bien que la Suède à la croissance de la demande d'énergie.

Le pétrole est l'énergie qui constitue la principale dépendance du pays vis-à-vis de l'extérieur.

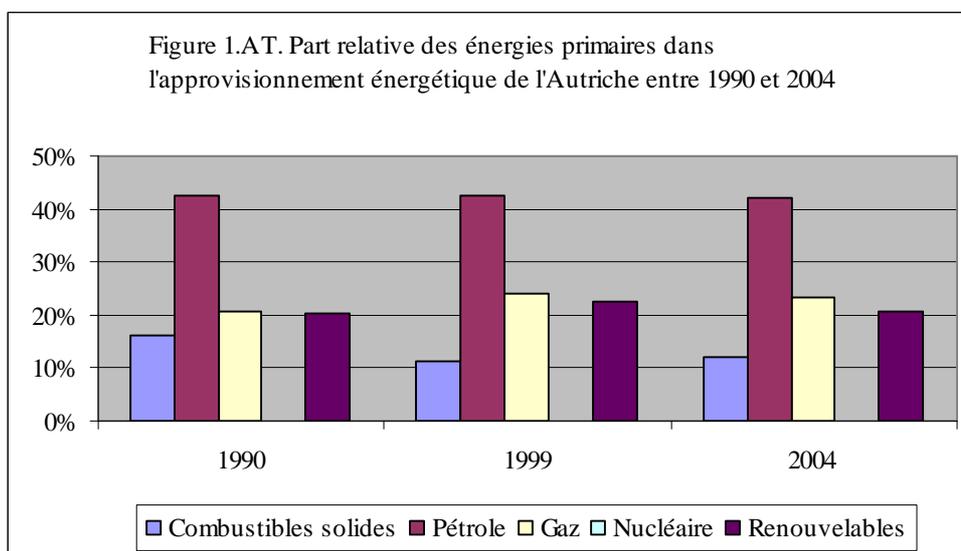
Tableau 3.SE : Importations d'énergie de la Suède entre 1990 et 2004

	1990	1994	1998	2004	Variation 1990-2004
<i>Combustibles solides</i>	2,3	2,5	2,3	2,5	8%
<i>Pétrole</i>	15,2	17,0	17,6	16,8	11%
<i>Gaz</i>	0,6	0,8	0,8	0,9	52%
<i>Electricité</i>	-0,2	0,0	-0,9	-0,2	20%
Total	17,9	20,3	19,8	20,1	12%

Exprimé en Mtep

2.2.15. Le cas de l'Autriche

2.2.15.1. L'approvisionnement en énergies primaires



<i>Le poids important des énergies fossiles</i>	L'approvisionnement énergétique de l'Autriche est historiquement lié aux énergies fossiles. Les produits pétroliers dominent, du fait qu'ils sont utilisés à la fois dans le transport et le bâtiment. Le gaz naturel est bien présent puisqu'il représente entre 20 et 25% de l'approvisionnement sur toute la période. On observe une décroissance de la part des combustibles fossiles.
<i>Une proportion élevée des renouvelables</i>	Les énergies renouvelables sont également bien positionnées dans l'approvisionnement énergétique du pays. Leur part est relativement stable sur la période mais elle était déjà élevée en 1990 (21% contre 5% pour l'Europe des 15). Les investissements sur les renouvelables ont été maintenus.
<i>L'absence du nucléaire</i>	Le nucléaire est inexistant dans l'approvisionnement énergétique de l'Autriche.

2.2.15.2. La production d'énergies primaires

Tableau 1.AT : Production d'énergies primaires de l'Autriche entre 1990 et 2004

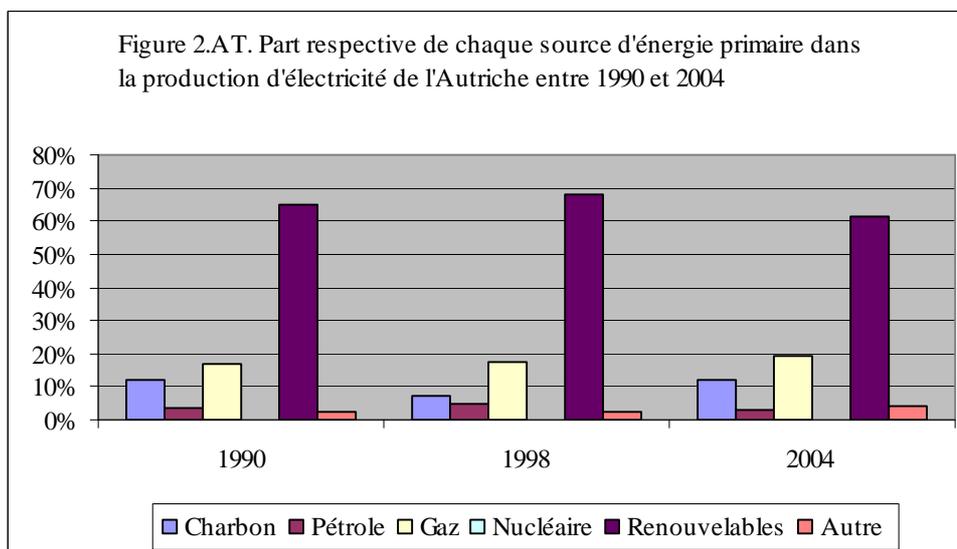
	1990	1998	2004	Variation 1990-2004	Part relative en 1990 ⁽¹⁾	Part relative en 2004 ⁽¹⁾
<i>Combustibles solides</i>	0,6	0,3	0,1	-83%	7%	1%
<i>Pétrole</i>	1,3	1	1	-23%	16%	10%
<i>Gaz</i>	1,1	1,4	1,7	55%	13%	17%
<i>Nucléaire</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Renouvelables</i>	5	6	6,7	34%	61%	68%
<i>Autres (déchets indus.)</i>	0,2	0,1	0,3	50%	2%	3%
Total production	8,2	8,8	9,8	20%	-	-
Total approvisionnement	25,0	28,7	32,7	31%		
Production/approv.	33%	31%	30%			

Exprimé en MTep

(1) Part relative de chaque énergie dans la production totale d'énergies primaires

L'Autriche est faiblement dotée en ressources naturelles. La majeure partie de son approvisionnement (80%) est assurée par les importations. On observe une diminution de la production de combustibles solides, et le choix de développer la production des énergies renouvelables. Il s'agit principalement de l'hydraulique et de la biomasse, mais l'Autriche a développé ces dernières années une industrie des biocarburants qui est en pleine expansion.

2.2.15.3. La production d'électricité



<i>La domination de l'hydroélectricité</i>	La production d'électricité de l'Autriche dépend à plus de 60% de l'hydraulique, l'électricité issue de la biomasse ayant quant à elle doublé sur la période 1990-2004. Les transformations du secteur de l'électricité, dans le cadre de l'accession à l'Union européenne et du processus de libéralisation du marché de l'électricité, ont été considérables. Le principe qui guide la politique énergétique est celui de l'indépendance, appliqué au secteur de l'électricité, impliquant la maximisation des ressources nationales (principalement l'hydroélectricité).
<i>Le bon positionnement du gaz naturel</i>	Le gaz naturel est la deuxième source d'énergie de production d'électricité.
<i>L'absence du nucléaire</i>	Le nucléaire est absent de la production d'électricité.

2.2.15.4. La dépendance énergétique et les importations nettes

Tableau 2.AT : Dépendance énergétique de l'Autriche entre 1990 et 2004

1990	1994	1998	2004
68%	65%	70%	71%

La dépendance énergétique de l'Autriche est forte et a progressé sur la période. Les importations des différentes énergies fossiles ont progressé régulièrement sur la période. Des efforts ont été entrepris pour augmenter la sécurité énergétique, notamment au niveau du stockage et de celui de la diversification (projets d'infrastructures de réseaux, tel Nabucco, qui est destiné à faire transiter le gaz de la Mer Caspienne via les Balkans).

Tableau 3.AT : Importations d'énergie de l'Autriche entre 1990 et 2004

	1990	1994	1998	2004	Variation 1990-2004
<i>Combustibles solides</i>	3,1	2,5	2,9	3,8	23%
<i>Pétrole</i>	9,5	10	12	13,1	38%
<i>Gaz</i>	4,4	4,2	5,3	6	36%
<i>Electricité</i>	0	-0,1	-	0,3	-
Total	17,1	16,7	20,2	23,2	36%

Exprimé en Mtep

2.3. Synthèse de l'état des lieux de l'Europe des 15

Taux de dépendance énergétique des pays de l'Europe des 15 classés en fonction des énergies produites nationalement

Pays producteurs de gaz et/ou de pétrole	Pays non producteurs de gaz et de pétrole			
	Pays avec nucléaire et avec renouvelables	Pays avec nucléaire et sans renouvelables (1)	Pays sans nucléaire et avec renouvelables	Pays sans nucléaire et sans renouvelables
Danemark -48% Royaume Uni 5% Pays-Bas 31%	Suède 37% Finlande 54% Espagne 77% France 51%	Allemagne 61% Belgique 79% France 51%	Italie 85% Portugal 84% Autriche 71% Grèce 73%	Irlande 87% Luxembourg 98% Grèce 73%

(1) « Sans renouvelables » signifie dont la part dans l'approvisionnement est inférieure à la moyenne européenne en 2004 (6%).

On peut faire une première distinction au niveau de l'Europe des 15 entre les pays qui produisent du pétrole et du gaz naturel (première colonne) et ceux qui n'en produisent pas (les quatre colonnes suivantes), puis opérer une distinction dans les groupes entre les pays en considérant leur choix de développer la filière nucléaire et/ou renouvelable.

1) Parmi les pays producteurs, il y a d'un côté ceux qui produisent à la fois du gaz et du pétrole (Royaume Uni et Danemark), indépendants énergétiquement. De l'autre, on trouve les Pays Bas qui produisent seulement du gaz naturel, et qui sont dépendants énergétiquement du pétrole. Toutefois, le taux de dépendance énergétique de ce pays reste bien en deçà de la moyenne européenne. Dans ce petit groupe de « privilégiés », le **Danemark** n'a pas de nucléaire et tente de compenser son manque de pétrole par une politique active de soutien aux énergies renouvelables. Le **Royaume Uni** a jusque là choisi de développer le nucléaire, mais pas les renouvelables ; c'est donc à ce niveau que se situe sa marge de manœuvre la plus importante. Les **Pays-Bas** n'ont pas de nucléaire, et une stratégie désormais tournée résolument vers les énergies renouvelables, afin de se désengager progressivement des énergies fossiles (qui représentaient 96% de leur approvisionnement en 2004).

2) Parmi les pays non producteurs, on peut distinguer plusieurs groupes de pays, en fonction de leur choix pour la filière nucléaire et/ou renouvelable.

Le premier groupe est constitué de cinq pays qui sont relativement bien diversifiés énergétiquement (nucléaire, renouvelables et pour certains, combustibles solides), bien que non dotés en pétrole et gaz naturel. La **Suède** se caractérise par un taux de dépendance énergétique particulièrement faible par rapport aux autres pays de ce groupe. Cela tient d'une part à la présence à parts relativement égales et élevées du nucléaire et des renouvelables dans l'approvisionnement énergétique et la production d'électricité. D'autre part, la dépendance vis-à-vis du pétrole est une cible de la politique énergétique engagée par la Suède, qui s'est donnée pour ambition d'être indépendante des énergies fossiles d'ici 2020 (notamment par un développement de la filière biocarburants). La **Finlande** est exemplaire en matière d'équilibre des parts relatives des différentes énergies constituant son approvisionnement. Son taux de dépendance énergétique n'a cessé de baisser depuis 1990, contrairement à beaucoup de pays européens, notamment grâce à la part très significative des renouvelables. L'**Espagne** est très dépendante du pétrole et du gaz naturel, du fait d'une croissance soutenue. Elle se caractérise toutefois par un pourcentage plus élevé de renouvelables par rapport au reste de l'Europe (biocarburants, éolien) ; le pays produit toujours des combustibles solides (même si leur part a été divisée par deux depuis 1990). La **France** se classe dans ce groupe de pays, par la

diversification de son approvisionnement. Toutefois, bon élève en matière de renouvelables, dans les années 1990, elle se situe désormais dans la moyenne européenne. Au vu des politiques actives engagées par plusieurs pays, la part relative des renouvelables en Europe risque d'augmenter et l'effort de la France doit être soutenu pour éviter de passer dans le troisième groupe de pays. Le taux de dépendance énergétique plus faible que la moyenne de ses voisins européens est lié à l'importance particulière de la filière nucléaire en France.

Le deuxième groupe comprend l'Allemagne et la Belgique. L'**Allemagne** produit du nucléaire mais la part des renouvelables est plus faible que la moyenne de l'UE-15. Par rapport à la France, le nucléaire représente en Allemagne une part bien moins significative dans l'approvisionnement. Une spécificité de l'Allemagne est le poids toujours important des combustibles solides (alors qu'en France, le choix a été fait d'en abandonner la production). Les renouvelables ont fait l'objet d'un développement considérable depuis 1990, et l'Allemagne est en train de rattraper son retard concernant la place qu'occupent ces énergies dans son approvisionnement. La **Belgique** ne dispose d'aucune ressource en énergies fossiles, y compris les combustibles fossiles. Sa performance médiocre en termes de dépendance énergétique est liée au poids du pétrole et au fait que, contrairement à la France, une part non négligeable de sa production d'électricité dépend du gaz importé. La part des renouvelables est nettement inférieure à la moyenne européenne.

Le troisième groupe se compose de quatre pays, qui n'ont pas fait le choix du nucléaire mais dont la part des renouvelables est plus importante que la moyenne de leurs partenaires européens. Tout d'abord, l'**Italie** se caractérise par une part du pétrole qui est importante dans l'approvisionnement, expliquant un taux de dépendance énergétique très supérieur à la moyenne européenne (55% en 2004). Ce taux élevé s'explique également par le fait que l'Italie ne produit pas de combustibles solides. Le gaz domine désormais au niveau de la production d'électricité. En l'absence de nucléaire et d'énergies fossiles, l'Italie n'a guère d'autre choix que celui de développer la filière renouvelable (géothermie, hydroélectricité et biomasse). Le **Portugal**, contrairement à l'Italie, a deux atouts : sa filière renouvelable est mieux positionnée dans l'approvisionnement (15% par rapport à une moyenne européenne de 6% en 2004) ; par ailleurs, le pays continue à faire reposer sa production d'électricité majoritairement sur les combustibles solides. La **Grèce** est quant à elle dans la moyenne européenne en termes d'énergies renouvelables, et continue comme le fait le Portugal à produire de l'électricité à partir de combustibles solides. Le fait de pouvoir passer dans le dernier groupe de pays tient comme pour la France au caractère plus ou moins volontariste de sa politique de développement des renouvelables. Les parts des différentes énergies dans l'approvisionnement de l'**Autriche** sont restées relativement stables depuis 1990. Le pétrole et le gaz dominant, puis le charbon. La part des renouvelables, qui sont utilisées principalement pour la production d'électricité, est particulièrement élevée (20%) par rapport à la moyenne européenne.

Dans le dernier groupe de pays, on trouve l'**Irlande** et le **Luxembourg**. L'approvisionnement énergétique de ces deux pays repose quasi-exclusivement sur les énergies fossiles importées. L'Irlande a toutefois amorcé une politique en faveur des renouvelables, qui est un secteur en devenir dans ce pays.

3. Une définition de la vulnérabilité et construction d'une grille d'indicateurs

3.1. La littérature sur la vulnérabilité énergétique

3.2. Les indicateurs de diversité

3.3. L'efficacité énergétique

3.4. Les indicateurs de soutenabilité des choix énergétiques

Nous définissons le concept de vulnérabilité à partir des notions de diversité, efficacité et soutenabilité énergétique, pour lesquels nous retenons des indicateurs. La diversité énergétique fait référence aux sources d'énergies primaires, également aux fournisseurs d'énergie (pays ou régions d'origine des importations). L'efficacité est liée aux efforts en matière d'intensité énergétique, prenant en compte le progrès technologique et les investissements dans la production, la transformation et le transport d'énergie. Elle est également liée aux économies d'énergie réalisées par les utilisateurs finaux dans leur consommation d'énergie. La soutenabilité fait d'une part référence à la sécurité d'approvisionnement à long terme ; elle introduit d'autre part la notion de développement durable. On peut également poser la question de la crédibilité des politiques énergétiques de substitution aux énergies fossiles qui se sont développées ces dernières années. Censées répondre à la dépendance énergétique, nous montrons les conditions dans lesquelles elles peuvent être crédibles.

3.1. La littérature sur la vulnérabilité énergétique

Il n'existe pas à notre connaissance de synthèse d'indicateurs de vulnérabilité énergétique²⁵. La vulnérabilité dans la littérature est largement associée à la sécurité d'approvisionnement. Par ailleurs, comme le souligne Jansen et al. (2004), de manière surprenante, peu de travaux de recherche ont été entrepris pour construire des indicateurs de sécurité d'approvisionnement énergétique à long terme.

Beaucoup de travaux sur la sécurité d'approvisionnement font référence aux recherches de Stirling, qui développent des indicateurs de diversité énergétique. La vulnérabilité tient souvent au risque de rupture d'approvisionnement. Augmenter la diversité revient à réduire ce risque. Les indicateurs de sécurité d'approvisionnement énergétique proposés par Jansen et al. (2004) reprennent en grande partie les contributions de Stirling sur le sujet²⁶, qui emprunte lui-même aux travaux sur la biodiversité une grande partie de la méthodologie qu'il préconise pour définir ses indicateurs de diversité énergétique.

Concernant la sécurité d'approvisionnement à long terme, outre les travaux de Jansen et al. intégrant à leur critère de diversité des coefficients de stabilité politique ou de raréfaction des ressources, on trouve essentiellement toute la littérature sur la théorie des choix de portefeuille, afin de définir un portefeuille d'énergies primaires optimal qui

²⁵ On trouve diverses publications qui traitent de la construction d'indicateurs dans le domaine de l'énergie, relatifs notamment à l'efficacité énergétique ou le développement durable. Voir notamment "Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies", IAEA, 2005 ; "Indicators of Energy Use and Efficiency", OECD, IEA 1997

²⁶ Ils font référence à **Stirling** (1994), "Diversity and ignorance in electricity supply investment. Addressing the solution rather than the problem", Energy Policy, Volume 22, Issue 3, March ; **Stirling** (1999), "On the Economics and Analysis of Diversity", SPRU Electronic Working Papers Series, Paper No.28

prennent en compte les risques énergétiques, notamment la volatilité des prix et les incertitudes sur les coûts²⁷.

Une large littérature s'intéresse également à l'efficacité énergétique, qu'il est logique d'intégrer à une réflexion sur la vulnérabilité. Traditionnellement, on mesure l'efficacité énergétique à partir de l'intensité énergétique, définie comme le ratio de l'énergie utilisée par rapport à une mesure de l'activité économique. Améliorer l'efficacité énergétique consiste donc à utiliser de moindres quantités d'énergie pour produire la même quantité du bien ou du service considéré. La simplicité du raisonnement contraste ensuite avec la variété des indicateurs d'efficacité énergétique qu'il est possible de construire. En effet, on peut d'une part s'interroger sur la définition de ce qui est produit et du type d'énergie utilisé, ainsi que des instruments utilisés pour le mesurer (Patterson, 1996). D'autre part, on peut proposer une mesure brute de l'intensité énergétique, mais elle est insuffisante pour prendre en compte la nature des variations de l'efficacité énergétique. Par exemple, modifier la structure de l'activité économique, et notamment se tourner vers des industries plus énergétivores, peut modifier la consommation par unité d'output ; les conséquences en termes d'efficacité énergétique ne sont pas nécessairement négatifs. On calcule alors des indicateurs d'efficacité basés sur la mesure nette de l'intensité énergétique.

Enfin, une orientation centrale des directives européennes est le développement d'énergies alternatives, par rapport aux objectifs de développement durable. Là aussi, la littérature est assez abondante et propose différents indicateurs pour évaluer les efforts des pays en matière d'énergies moins polluantes. C'est aussi mettre en évidence les opportunités d'une productivité plus importante dans la production d'énergie grâce à de nouvelles technologies de production.

Tous ces travaux vont être mobilisés dans ce qui suit pour proposer des indicateurs de vulnérabilité énergétique, à travers les notions de diversité, d'efficacité et de soutenabilité.

3.2. Les indicateurs de diversité

3.2.1. Définition de la diversité dans la littérature

3.2.1.1. La littérature sur la biodiversité

Les travaux sur la recherche d'indicateurs de biodiversité sont abondants, et la définition de critères de diversité dans le domaine de l'énergie se base très largement sur cette littérature. Il nous apparaît donc important de revenir sur ces apports avant de voir comment on peut les appliquer aux systèmes énergétiques.

On a tendance à associer la diversité d'un système au nombre des éléments qui le constituent. Tout l'intérêt des apports sur la mesure de la biodiversité consiste à montrer que la seule référence au nombre de ses éléments est insuffisante pour appréhender la diversité d'un système quel qu'il soit.

La contribution de Baumgärtner (2006) est intéressante car, à partir de travaux fondateurs, elle propose des indicateurs, qui sont des outils permettant de comparer deux systèmes en fonction de leur diversité respective. Pour cela, il définit plusieurs indicateurs de diversité d'un écosystème, en allant au-delà de la seule donnée « nombre d'espèces dans le système ». En effet, intuitivement, un système est plus diversifié qu'un autre s'il se définit par un nombre d'espèces différentes plus élevé, mais également si les individus sont répartis

²⁷ cf. notamment Awerbuch et al., 2003, 2004 et 2005 et Roques et al., 2005

de manière plus homogène entre les différentes espèces et si les espèces dans le système sont plus dissemblables entre elles. Ainsi, l'auteur retient trois caractéristiques des systèmes :

- **le nombre** d'espèces différentes dans le système
- **les proportions relatives** répartissant les individus entre les différentes espèces
- **les fonctions** spécifiques de chaque espèce

La construction d'indicateurs de biodiversité doit prendre en compte la contribution de chaque espèce pondérée par son abondance relative dans l'écosystème (sa profusion). Intuitivement, les espèces rares vont moins contribuer à la biodiversité que les espèces plus communes.

Une première série d'indicateurs tient compte des deux premières caractéristiques (nombre et proportions relatives). Les indicateurs sont définis à partir d'une même formule, proposée par Hill (1973)²⁸, permettant de mesurer le caractère relatif de l'influence de chaque espèce sur la biodiversité.

$$v_{\alpha}(n, p) = \left(\sum_{i=1}^n p_i^{\alpha} \right)^{1/(1-\alpha)} \quad (\text{I})$$

avec $\alpha \geq 0$

n représente le nombre absolu d'espèces i et p_i l'abondance relative des n espèces selon la formule suivante :

$$p_i = a_i / \sum_{i=1}^n a_i \quad \text{avec} \quad \sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad \text{et} \quad 0 \leq p_i \leq 1$$

où a_i représente l'abondance relative de chaque espèce.

La relation (I), ou plus exactement son logarithme $\log v_{\alpha}$, est une notion courante en théorie de l'information, appelée entropie généralisée (entropie²⁹ d'ordre α de la distribution de probabilités p).

On peut tirer de la relation (I) un certain nombre de propriétés :

(1) v_{α} peut être interprétée comme le nombre efficace³⁰ d'espèces, dans un système de n espèces distribuées de manière hétérogène ;

(2) Plus le nombre d'espèces est élevé et plus les proportions relatives de chaque espèce sont homogènes, plus v_{α} augmente. Cela signifie que, d'une part, la valeur maximale de v_{α} augmente avec le nombre d'espèces différentes ; d'autre part, il faut considérer aussi les proportions relatives des espèces dans le système. Ainsi, quand toutes les espèces ont une abondance relative équivalente (i.e. p_i est égal à $1/n$), v_{α} est égale au nombre n d'espèces présentes dans le système. v_{α} décroît avec l'hétérogénéité croissante des abondances relatives

²⁸ Hill, M.O. (1973), "Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences, *Ecology*, 54, 427-431.

²⁹ La thermodynamique statistique a permis d'éclairer la signification de l'entropie d'un système, grandeur physique relativement abstraite. Elle mesure le degré de désordre d'un système au niveau microscopique. Plus l'entropie d'un système est élevée, moins ses éléments sont ordonnés, liés entre eux, capables de produire des effets mécaniques, et plus grande est la part de l'énergie inutilisée ou utilisée de façon incohérente. Le concept d'entropie a progressivement pénétré un grand nombre de domaines.

³⁰ La valeur efficace est une notion de physique, qui peut être définie comme une image de l'équivalent en grandeur continue d'une grandeur non continue. Mathématiquement, elle se mesure par la racine carrée de la moyenne du carré de la grandeur considérée. Dans le cas d'un courant électrique, c'est la racine carrée de la moyenne du carré de l'intensité.

p , c'est-à-dire la dominance de quelques espèces. L'indice prend sa valeur minimale quand un système est dominé par une seule espèce, toutes les autres espèces ayant des abondances relatives négligeables, i.e. $p_i \approx 0$ pour tout i et $p_{i^*} \approx 1$ avec i^* , l'espèce dominante. Dans ce cas, $v_\alpha \approx 1$, ce qui signifie que la valeur efficace des différentes espèces est approximativement 1.

(3) Le paramètre $\alpha \geq 0$ évalue le poids de l'homogénéité de la distribution des abondances relatives p par rapport au poids du nombre absolu d'espèces n sur l'indicateur de diversité. Pour $\alpha = 0$, l'homogénéité de la distribution des abondances relatives p est non pertinente, et v_α est déterminé par le nombre absolu d'espèces n . Plus α est grand, plus le poids de cette homogénéité est important pour calculer v_α ; pour $\alpha = +\infty$, le nombre absolu d'espèces est totalement non pertinent et v_α est complètement déterminé par les abondances relatives.

(4) Pour différentes valeurs du paramètre α , on peut définir différents indices de diversité des espèces qui sont couramment utilisés en écologie. Ils peuvent être considérés comme des cas particuliers de la formule générale (I) :

- l'indice de la richesse en espèces : $D^R = v_0(n, p) = n$

Il correspond au cas, déjà discuté ci-dessus, où $\alpha = 0$, c'est-à-dire une situation pour laquelle la diversité v_α est directement calculée à partir du nombre absolu d'espèces n . Dans la pratique, ce type d'indicateur est donc utilisé pour mettre en avant le nombre absolu des éléments constituant un système donné. L'indice de diversité est d'autant plus élevé que le nombre d'espèces est grand.

- l'indice de Shannon-Wiener : $D^{SW} = v_1(n, p) = \exp H$ avec $H = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i$

Il correspond au cas où $\alpha = 1$ dans la relation (I). H est une expression très utilisée en statistique et en théorie de l'information, appelée entropie de Wiener³¹. L'entropie de Shannon-Wiener, et l'indice qui en découle D^{SW} , au-delà de sa signification écologique, est une valeur logarithmique difficile à calculer et à interpréter. C'est néanmoins une mesure très populaire de l'hétérogénéité³².

- l'indice de Simpson : $D^S = v_2(n, p) = 1 / \sum_{i=1}^n p_i^2$

Il correspond au cas où $\alpha = 2$. C'est un indice très populaire parmi les écologistes. Les raisons sont liées à la facilité de calculer cet indice, également à la signification écologique de son interprétation : $\sum_{i=1}^n p_i^2$ est la probabilité que deux individus tirés au hasard dans un écosystème infiniment grand appartiennent à des espèces différentes. Cette probabilité augmente avec une répartition hétérogène des espèces (une forte proportion d'individus d'une espèce augmente les chances d'en voir deux tirées au hasard appartenir à la

³¹ Shannon, C.E. (1948), "A mathematical theory of communication", *Bell System Technical Journal*, **27**, 379-423 and 623-656; Wiener, N. (1948), *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Cambridge, MA: MIT Press.

³² Parmi toutes les mesures définies à partir de l'expression (I), seule l'entropie de SW ($\alpha = 1$) permet une agrégation cohérente de l'hétérogénéité entre différents niveaux de hiérarchie d'un système : l'entropie SW de niveau supérieur d'un système d'individus rassemblés dans des sous-systèmes de niveau inférieur peut être décomposée de manière additive pour montrer les contributions de l'hétérogénéité au sein et entre les sous-systèmes de niveau inférieur.

même espèce). Ainsi, l'inverse de cette probabilité, qui est l'indice D^S , diminue avec l'hétérogénéité donc augmente avec l'homogénéité des abondances relatives. Il s'agit d'un indice de diversité tenant compte des relations fonctionnelles existant dans l'écosystème, par exemple, la relation proie/prédateur, la relation hôte/parasite, etc.

- l'indice de Berger-Parker : $D^{BP} = v_{+\infty}(n, p) = 1/p_1$

Dans ce cas, où $\alpha = +\infty$, l'indice de diversité est égal à l'inverse de l'abondance relative des espèces les plus courantes dans le système. Il donne le nombre des espèces ayant la même abondance relative que les espèces les plus abondantes dans le système, en négligeant toutes les autres espèces. Si par exemple, les espèces les plus courantes ont une abondance relative $p_1 = 0,5$, avec pour les autres espèces de la communauté des abondances relatives plus faibles, l'indice sera $D^{BP} = 1/0,5$, indépendamment du nombre et des abondances relatives des autres espèces. Lorsque cet indice diminue, c'est le signe d'une moindre diversité.

(5) Une des propriétés de l'expression (I) est que, pour tout n et p donnés, sa valeur diminue avec α . On obtient donc logiquement la relation suivante entre les différents indices précédemment évoqués :

$$n = D^R \geq D^{SW} \geq D^S \geq D^{BP} > 1$$

On doit noter que tous les indices ont été établis à partir de l'expression (I), en prenant différentes valeurs de α . Par ailleurs, la diversité dépend dans cette expression à la fois du nombre absolu d'espèces et du caractère plus ou moins homogène de leur proportion relative dans le système considéré. On en conclut donc que la diversité peut diminuer bien que la richesse en espèces n augmente.

Un autre résultat est qu'en prenant un α élevé, l'indice de diversité qui en découle donnera davantage de poids aux espèces les plus abondantes dans la communauté, tout en étant moins sensible aux différences entre les petites abondances relatives et à la richesse totale en espèces. Par exemple, lorsque deux communautés diffèrent dans le nombre et la composition des espèces très rares, l'indice D^{BP} , qui prend en compte seulement les espèces les plus abondantes, est complètement insensible à cette différence. Même l'indice D^S est à peine sensible à cette différence. L'indice D^{SW} le sera davantage, mais c'est seulement l'indice D^R qui prend totalement en compte le nombre plus ou moins élevé d'espèces très rares entre les deux communautés.

En résumé, le fait de considérer qu'un système est plus ou moins diversifié dépend de la valeur que l'on affecte au paramètre α , i.e. si l'on décide d'accorder plus de poids à la richesse absolue en espèces par rapport à l'homogénéité des abondances relatives. Selon les indices correspondants, les systèmes avec davantage d'espèces, lesquelles étant distribuées de manière plus homogène, ont une biodiversité plus élevée que les systèmes avec moins d'espèces, qui sont réparties de manière plus hétérogène.

Une deuxième série d'indicateurs prend en compte les caractéristiques fonctionnelles des espèces ; la biodiversité est mesurée à partir des dissemblances et des ressemblances entre les espèces. On a besoin pour cela d'une représentation formelle des traits spécifiques des différentes espèces. Deux approches existent. L'une est initiée par les écologistes et popularisée par Weitzman, dite approche de Weitzman. Elle est construite sur le concept de fonction de distance pour mesurer les dissemblances entre les espèces. Dans

cette approche, la diversité d'un ensemble d'espèces est une mesure agrégée de la dissemblance par paire entre les espèces. L'autre approche, développée par Nehring et Puppe (2002, 2004), généralise l'approche de Weitzman. C'est un indicateur encore plus général que celui de Weitzman, élaboré selon une approche multicritères. La mesure de la diversité des espèces est basée sur les traits caractéristiques des espèces. Par contraste avec l'approche de Weitzman, les données de base ne sont pas les disparités par paire entre les espèces, mais les traits caractéristiques, notés f , eux-mêmes. A partir de ces traits et de leur poids relatif $\lambda_f \geq 0$, qui est obtenu à partir des préférences des individus ou de la société, Nehring et Puppe construisent un indice de diversité qui est le suivant :

$$D^{NP} = \sum \lambda_f$$
, qui signifie que l'indice de diversité d'un ensemble S d'espèces est la somme des poids relatifs λ_f de toutes les caractéristiques f qui sont représentées par au moins une espèce s_i dans le système. Chaque caractéristique est visible au moins une fois dans la somme. En particulier, chaque espèce s_i contribue à la diversité de l'ensemble S selon le poids relatif de toutes les caractéristiques qui sont possédées par s_i et qui ne sont pas déjà possédées par les autres espèces dans l'ensemble.

Nehring et Puppe montrent aussi que sous certaines conditions, la caractérisation d'un écosystème par sa diversité D^{NP} détermine uniquement les poids relatifs λ_f des différentes caractéristiques. Cela signifie qu'en affectant une certaine diversité à un écosystème, on révèle automatiquement un jugement de valeur (implicite) au sujet des caractéristiques associées à partir desquelles on fait la distinction entre les espèces et on décrit un écosystème comme plus ou moins diversifié.

3.2.1.2. La littérature sur la diversité en économie de l'énergie

Les développements qui précèdent sont empruntés à la littérature sur la biodiversité. Ils ont été repris en grande partie par Stirling pour définir des indicateurs de diversité dans le domaine de l'énergie³³. Stirling conçoit la diversité comme un moyen de résistance des systèmes face à l'incertitude, le risque ou l'ignorance. L'ignorance constitue un degré très élevé d'incertitude, caractéristique de systèmes complexes et dynamiques, où certains agents ont le pouvoir d'influencer des événements supposés exogènes, et pour lesquels il est difficile de définir une distribution de probabilités ou d'identifier des résultats prévisibles.

Appliquée à l'énergie, la diversité selon Stirling (1999) est appréhendée à partir de trois dimensions : la variété, l'équilibre et la disparité (qui ont une étroite correspondance avec les notions de biodiversité évoquées précédemment). **La variété** est un nombre entier positif mesurant le nombre de catégories de classement des différentes sources d'énergies primaires, ou en perfectionnant l'analyse, des différentes technologies de transformation de l'énergie. *Ceteris paribus*, plus la variété est élevée, plus la diversité énergétique est grande. **L'équilibre** est une notion mesurant l'homogénéité des proportions relatives des différentes sources d'énergies primaires. Le nombre de sources d'énergies primaires étant donné, la diversité énergétique est d'autant plus élevée que l'on observe une régularité importante de la distribution de ces sources d'énergies. **La disparité** fait référence à la nature des catégories de sources d'énergies primaires et mesure le degré de différenciation des catégories entre elles. Par exemple, les catégories « pétrole » et « gaz naturel » soient moins disparates que les catégories « pétrole » et « énergies renouvelables ». La disparité est un aspect de la diversité intrinsèquement qualitatif, subjectif et dépendant du contexte.

³³ Le rapport de Jansen et al. (2004) offre une synthèse intéressante des travaux de Stirling.

Stirling utilise la forme générale de l'indice de biodiversité de Hill, tenant compte de la variété et de l'équilibre : $\Delta_a = \sum_i (p_i^a)^{1/(1-a)}$

En posant a=1 puis a=2, on obtient respectivement l'indice de Shannon-Wiener (SWI), noté Δ_1 , et l'indice de concentration de Herfindahl-Hirschman (HHI) utilisé en économie, noté Δ_2 ³⁴ :

$$\Delta_1 = -\sum_i (p_i) \ln p_i \text{ et } \Delta_2 = 1 / \sum_i (p_i^2)$$

Ces indices sont les plus couramment utilisés dans la littérature en énergie³⁵.

L'indice HHI est une mesure couramment acceptée de la concentration du marché, qui prend en compte le nombre total de firmes sur le marché et leur taille relative (part de marché). Pour rendre l'indice applicable aux marchés européens de l'énergie, il suffit de remplacer la variable « part de marché d'une firme » par le « pourcentage d'importations de l'énergie considérée provenant d'un pays en particulier ». Selon les estimations du Ministère de la Justice américain (US Department of Justice), un HHI compris entre 1 000 et 1 800 points définit un marché modérément concentré. Au-delà de 1 800 points, le marché est considéré comme concentré³⁶.

Dans la littérature, la question de la pertinence d'un indicateur par rapport à un autre se pose. Grubb et al. (2005) montrent qu'en général les résultats du HHI sont cohérents avec ceux obtenus à partir du SWI. Selon Stirling, l'indice de Shannon doit être préféré³⁷ pour différentes raisons, tenant à la forme mathématique des deux indices³⁸.

A travers la notion de diversité, il y a l'idée de « ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier³⁹ », qui s'applique également au processus technologique, pour atténuer l'effet négatif du verrouillage technologique. Grubb et al. (2005) soulignent l'importance de s'interroger sur la nature diversifiée des « paniers ». On peut en effet faire référence aux types de carburant, aux types de sources d'énergie (par région géographique ou par firme), aux types de technologies voire même aux origines du savoir technologique (par pays, secteur ou firme).

Jansen et al. (2004) cherchent à définir des indicateurs de sécurité d'approvisionnement à long terme, en se basant sur les travaux de Stirling. Ils utilisent un

³⁴ L'indice de diversité de Simpson en écologie.

³⁵ Stirling s'est intéressé à la possibilité de saisir les différentes dimensions de la diversité au moyen d'un indicateur quantitatif simple et robuste. Il montre qu'il est difficile de définir un indicateur qui appréhende le concept complexe et fondamentalement subjectif de disparité. Il propose un indice multicritères de diversité possédant selon lui les trois propriétés de variété, d'équilibre et de disparité. Toutefois, selon Jansen et al. (2004), cet indice est complexe et soumis à des restrictions méthodologiques qui font que la diversité est généralement analysée à partir des indices HHI et SW.

³⁶ Dans Bolle (2004), il est indiqué que sur le marché américain, des transactions qui augmenteraient le HHI de plus de 100 points sur un marché déjà concentré soulèvent des préoccupations antitrust, en référence au document *Horizontal Merger Guidelines §1.51* édité par le U.S. Department of Justice et la Federal Trade Commission.

³⁷ Grubb et al. (2005) soulignent que le Livre Blanc a utilisé une approche similaire à celle de Stirling pour démontrer que dans les dernières décennies, le système électrique anglais était devenu plus diversifié.

³⁸ Une des raisons évoquées est que le changement de la base des logarithmes utilisés dans l'indice de Shannon-Wiener n'est pas susceptible de modifier le classement entre différents systèmes. En revanche, il n'y a pas de raison évidente pour le choix d'une puissance exponentielle de 2 et la modifier peut entraîner des divergences de classement.

³⁹ "Don't put all your eggs in one basket"

indicateur de base, l'indice de Shannon-Wiener, et intègrent pas à pas les différentes dimensions intervenant dans la vulnérabilité :

- diversité en termes d'importations sans prise en compte de la stabilité politique
- diversité en termes d'importations avec prise en compte de la stabilité politique dans les régions exportatrices
- diversité en tenant compte de la raréfaction des ressources naturelles

Ces deux derniers indices peuvent être utilisés dans notre cadre d'analyse au niveau de la soutenabilité des choix énergétiques, pour envisager l'incertitude qui pèse sur l'approvisionnement de certaines sources d'énergie.

3.2.1.3. Les indicateurs de diversité énergétique

L'indicateur de base : l'indicateur de diversité des sources d'énergies primaires

C'est l'indice de diversité de Shannon-Wiener Δ_{ener} , calculé pour le portefeuille d'énergies primaires, qualifié par les auteurs d'indicateur de base de sécurité d'approvisionnement énergétique, dont on rappelle la formule :

$$\Delta_{ener} = -\sum_i c_{1i} p_i \ln p_i$$

Dans cette expression, p_i représente la part de l'énergie primaire i dans l'ensemble des sources d'énergie primaire, avec $i = 1, \dots, M$ (M étant le nombre de sources d'énergie). c_{1i} est un facteur de correction de p_i pour l'indicateur Δ_{ener} , égal à l'unité pour ce premier indicateur⁴⁰. La valeur maximale de l'indicateur Δ_{ener} est de 2,079⁴¹, sa valeur minimale est 0, cas où toute la production d'énergie se concentre sur une seule source d'énergie primaire. Ainsi, une valeur faible de Δ_{ener} indique une situation défavorable en termes de diversité énergétique par rapport à une valeur élevée de cet indicateur.

L'analyse en structure du bilan énergétique apporte un enseignement précieux. Ainsi, si l'on envisage le cas de la France entre 1973 et 2000, la réduction de la part du pétrole de 67% à 40%, la montée du gaz de 7% à 14%, et la forte croissance du nucléaire (de 1,5% à 33%) illustrent à la fois la diversification des sources primaires et la diminution de la dépendance spécifique à l'égard des produits pétroliers. Toutefois, ce type d'analyse peut s'avérer incomplet car certains secteurs comme celui des transports restent strictement dépendants d'une seule forme d'énergie (95% de l'énergie consommée par les transports est composé de produits pétroliers). Il est intéressant de compléter l'indicateur global de diversité des sources avec des indicateurs sectoriels.

De la même manière, afin d'isoler le poids du progrès technologique dans la fourniture d'énergie, on peut mesurer un indicateur de diversité technologique, sur le modèle de l'indicateur Shannon-Wiener, prenant en compte le nombre et le degré d'homogénéité des parts relatives de chaque technologie dans la fourniture d'énergie. Dans ce cas, p_i représente la part de la technologie i dans la fourniture d'énergie, avec $i = 1, \dots, M$ (M étant le nombre de technologies utilisées)⁴².

⁴⁰ Pour les extensions de Δ_{ener} , ce coefficient sera différent de 1.

⁴¹ Les auteurs considèrent 8 catégories de sources d'énergie primaire : le charbon, le pétrole, le gaz, les biocarburants récents, les biocarburants traditionnels, le nucléaire, les ressources renouvelables et l'hydroélectricité. La valeur maximale de 2,079 est calculée à partir de l'indice : $-\ln 1/M$ avec $M = 8$.

⁴² On peut considérer uniquement les technologies de production d'énergie ou également celles mobilisées dans le transport.

L'indicateur de diversité des sources d'énergies primaires tenant compte de la dépendance vis-à-vis des importations d'énergie

On ajuste dans ce cas l'indicateur de base Δ_{ener} en tenant compte de la région d'origine des énergies primaires. Il s'agit d'ajuster les proportions de chaque source d'énergie primaire en les multipliant par le coefficient c_{2i} , compris entre 0 et 1. Une valeur faible de ce coefficient traduit pour la région concernée une dépendance élevée vis-à-vis des importations d'énergie, révélant un faible degré de diversité. La formule de ce second indicateur est la suivante :

$$\Delta_{\text{import}} = -\sum_i c_{2i} p_i \ln p_i$$

On définit le coefficient de correction c_{2i} par l'expression : $c_{2i} = 1 - m_i(1 - S_i^m / S_i^{m,\text{max}})$

m_i est la part des importations nettes dans la fourniture de la source d'énergie i . S_i^m représente l'indice SWI des flux d'importations de l'énergie i , de formule :

$$S_i^m = -\sum_j m_{ij} \ln m_{ij} \quad \text{où } m_{ij} \text{ est la part des importations d'énergie } i \text{ provenant de la}$$

région j dans le montant total des importations d'énergie i ⁴³.

Un raffinement supplémentaire de l'indicateur Δ_{import} consiste à introduire, outre la région d'origine, le mode de transport de l'énergie (par exemple, dans le cas du gaz, un pipeline ou un tanker de GNL), ce qui multiplie théoriquement par deux le nombre de régions considérées N (de 16 à 32). Selon les auteurs, en pratique, ce raffinement n'apparaît pas déterminant puisqu'à long terme, on considère que les pays de l'OCDE importeront leurs sources d'énergie des régions productrices selon des modes de transport hybrides. Mais dans une perspective de court et moyen terme, cette composante peut s'avérer intéressante.

Le critère de provenance des approvisionnements est un critère de diversification géopolitique. Il est intéressant à ce titre, même si, une fois encore, il mérite quelques analyses complémentaires. Ce n'est pas seulement la dépendance à l'égard d'un pays qui peut être problématique, mais aussi la dépendance à l'égard d'une zone géographique ou d'un ensemble politique. Par ailleurs, certaines situations de tension ont dorénavant des répercussions mondiales et sont rarement cantonnées à un pays ou une zone donnés.

3.2.2. Les arguments en faveur de la diversité

3.2.2.1. Diversification et sécurité d'approvisionnement

La diversification énergétique relève en premier lieu de l'objectif de sécurité d'approvisionnement. Ceci peut être facilement visualisé en utilisant la théorie de gestion de portefeuilles appliquée aux actifs énergétiques. La diversité d'un portefeuille d'actifs énergétiques dépend du nombre et de la disparité des technologies utilisées dans l'approvisionnement en énergies primaires. On peut envisager un portefeuille constitué sur la base de différentes énergies primaires, qui sont plus ou moins disparates (énergies fossiles, énergies renouvelables, énergie hydraulique, énergie nucléaire). Les choix d'investissement des producteurs dans telle ou telle technologie sont étroitement associés au risque, c'est-à-dire l'incertitude qui pèse sur les flux monétaires d'un investissement.

⁴³ La valeur maximale de S_i^m ($S_i^{m,\text{max}}$) est égale à 2,77, les auteurs considérant 16 régions productrices, $(-\ln 1/N)$ avec $N = 16$, qui n'inclut pas la région pour laquelle on est en train de calculer l'indice).

Evaluer le risque d'un actif revient à estimer la variabilité du rendement espéré de cet actif (la variance ou l'écart type). Evaluer le risque d'un portefeuille d'actifs consiste à estimer la variabilité du rendement espéré de l'ensemble des actifs composant ce portefeuille (les variances de ces actifs), ainsi que la dépendance entre les actifs (la covariance). Lorsque les actifs du portefeuille sont non corrélés (très disparates), la covariance s'annule ; si on considère par simplification que toutes les variances sont égales et les actifs détenus dans les mêmes proportions, la formule permettant de calculer le risque est simplifiée ; elle est égale au ratio variance/nombre d'actifs. On observe donc dans ce cas que plus le nombre d'actifs augmente, c'est-à-dire plus le portefeuille se diversifie, plus le risque de portefeuille tend vers 0. En posant un nombre d'actifs égal à l'infini, on élimine le risque. Plus le coefficient de corrélation entre les rendements des actifs est faible et plus les bénéfices de la diversification sont importants. Un coefficient de corrélation égal à 1 annule le bénéfice de la diversification, le risque de portefeuille étant égal à la moyenne des risques des actifs composant le portefeuille ; un coefficient égal à -1 rend maximal le bénéfice de la diversification. Dans ce cas, on peut constituer un portefeuille sans risque de deux actifs risqués.

Mesurer l'effet de la diversification sur le risque est un moyen d'estimer l'impact de cette diversité sur la sécurité d'approvisionnement, puisqu'on mesure la stabilité et l'ampleur du rendement espéré de l'investissement de diversification, qui sont les éléments déterminants du choix d'investissement des producteurs. Roques et al. (2005) montrent que les bénéfices de la diversification peuvent être remis en cause par certaines « défaillances de marché » : les bénéfices sur le plan national d'un investissement nucléaire qui augmenterait la diversité des technologies de production apparaissent comme une « externalité » qui a une valeur très faible pour un électricien sur un marché où les prix de l'électricité sont fortement corrélés avec ceux du gaz et du carbone. La corrélation entre les prix de l'électricité et le coût du combustible de la technologie dominante introduit un biais dans les choix d'investissement en faveur de la technologie dominante.

Un tel biais peut justifier l'intervention du régulateur (notamment public) pour encourager la diversité des technologies de production sur les marchés électriques. Les auteurs envisagent plusieurs solutions : une planification centralisée des choix technologiques « à la française » ; une intervention davantage tournée vers le marché comme dans d'autres pays européens ou aux Etats-Unis, telle des taxes et subventions différenciées par technologie ; une « obligation de diversité » dans les achats aux producteurs, imposées aux fournisseurs.

3.2.2.2. Les conséquences macroéconomiques de la diversification

La diversification du bouquet énergétique est intéressante par les avantages macroéconomiques qui en découlent. La diversification est censée répondre quasi exclusivement au risque d'accroissement des prix du pétrole, qui représente un coût important pour la collectivité (en termes d'inflation, de chômage et de dévaluation des actifs financiers). Ces coûts ont été mis en lumière par un certain nombre de travaux. Les estimations de Greene et Tishchishyna (2000) sur la période 1970-2000 montrent que les fluctuations des prix du pétrole ont représenté un coût global de 7 000 milliards de dollars aux Etats-Unis (dont 43% représentent la diminution de PIB, 31% l'existence de transferts et 26% les ajustements macroéconomiques). Awerbuch et Sauter (2005) indiquent que la relation pétrole-PIB est statistiquement mesurable depuis la fin des années 1940. Pourtant, même si cette relation est davantage étudiée depuis 20 ans, les décideurs n'ont curieusement

montré qu'un faible intérêt à cette question. La récente hausse spectaculaire des prix du pétrole augmente l'intérêt porté à cette relation.

Les estimations de l'AIE (2004), menées en collaboration avec l'OCDE et le FMI, ont montré que la hausse durable de 10\$ par baril du prix du pétrole devait se traduire par une réduction de richesse s'élevant à 0,5% du PNB mondial, soit une perte globale de 255 milliards de dollars, dans l'année suivant la hausse de 10\$. Les pertes macroéconomiques sont plus élevées pour les pays en développement que pour les pays de l'OCDE (0,8% pour l'Asie et 1,6% dans les pays pauvres fortement endettés, plus de 3% pour l'Afrique Subsaharienne, contre 0,4% pour les pays de l'OCDE). La raison tient à ce que les pays en développement importateurs de pétrole utilisent plus du double de pétrole pour produire une unité d'output que ne le font les pays de l'OCDE.

Les mécanismes par lesquels la hausse des prix affecte la richesse globale opèrent à deux niveaux : un effet revenu direct et des effets d'ajustement indirects, qui sont d'autant plus importants que la hausse du prix du pétrole est significative et durable. Concernant le premier effet, la hausse des prix se traduit par un transfert de revenu des pays importateurs vers les pays exportateurs à travers une modification des termes de l'échange. L'importance de cet effet revenu dépend de la part du coût du pétrole dans le revenu national⁴⁴, du degré de dépendance vis-à-vis du pétrole, de la capacité des utilisateurs à réduire leur consommation ou à consommer une autre énergie ; enfin, l'effet dépend de l'ampleur avec laquelle le prix du gaz va répondre à la hausse du prix du pétrole, plus généralement de la manière dont le prix des autres énergies est corrélé à ceux du gaz et du pétrole.

Le second type d'effet correspond aux effets d'ajustement, qui proviennent des salaires réels ainsi que des rigidités structurelles et de prix. Des prix du pétrole durablement plus élevés entraînent, dans les pays importateurs, des coûts accrus des matières premières et consommations intermédiaires, une demande des biens autres que le pétrole qui se réduit et une baisse des investissements. Les recettes fiscales diminuent, les budgets publics se creusent, du fait de rigidités au niveau des dépenses de l'Etat, et les taux d'intérêt finissent par augmenter. Les résistances à la baisse des salaires réels entraînent des pressions à la hausse sur les salaires nominaux. Ces effets indirects combinés sont synonymes d'accroissement du chômage, au moins à court terme, et globalement entament la confiance des consommateurs et des entreprises. Il y a des répercussions sur l'équilibre extérieur, par les pressions exercées sur les taux de change. Les importations deviennent plus chères, avec pour effet de réduire le revenu réel national. Sans intervention des banques centrales et des politiques gouvernementales, le dollar tend à s'apprécier du fait de la hausse de la demande d'actifs libellés en dollars par les pays producteurs de pétrole.

Si les effets consécutifs à une hausse des prix du pétrole sont bien identifiés, il est moins évident de les quantifier, d'en prévoir avec précision l'ampleur et la dynamique, en particulier les effets d'ajustement indirects dus à une modification des termes de l'échange. Cela tient à la variété des modèles pouvant estimer ces effets. Cela tient également à l'incertitude qui pèse sur l'évolution des données utilisées pour les estimations, notamment les projections sur les prix du pétrole et le cours du dollar. Le rapport de l'AIE (2004) utilise le modèle macroéconomique Interlink pour tester la vulnérabilité des pays de l'OCDE à des prix du pétrole plus élevés à moyen terme. Dans le cas de base, les prix du pétrole sont supposés rester constants à 25\$ le baril sur une période de 5 ans allant de 2004 à 2008. Le cas de prix durablement supérieurs est considéré et les prix sont supposés être plus élevés de 10\$,

⁴⁴ L'AIE (2004) estime par exemple qu'en 2003, les importations de pétrole ont coûté à l'ensemble des pays de l'OCDE 260 milliards de dollars, correspondant à environ 1% du PIB. La « facture » énergétique liée aux importations avait augmenté en moyenne de 20% par an depuis 2001.

soit 35\$ le baril, avec un taux de change de l'euro à 1,14 dollar. Ces données ont permis de calculer une perte estimée de 0,4% du PIB de l'OCDE en 2004 et en 2005⁴⁵. Si l'on considère les valeurs fin 2007 à la fois du baril de pétrole et du cours du dollar, nous sommes loin des projections de 2004 : le baril dépasse les 90\$ fin octobre 2007 et on observe un taux de change de l'euro supérieur à 1,4 dollar. En 2008, tous les records sont atteints à la fois sur le prix du baril et sur le taux de change euro/dollar.

L'accroissement substantiel de la part du gaz dans l'approvisionnement énergétique de nombreux pays, dont la France, notamment pour la production électrique avec le développement des centrales nucléaires CCG (Cycles Combinés au Gaz), était censé répondre aux prix élevés du pétrole. Ces choix énergétiques ont été décidés à une époque (avant les années 2000) où les prix du gaz étaient relativement faibles. Actuellement, le prix du gaz augmente, suivant tendanciellement les évolutions du cours du pétrole.

La diversification passe également par le développement des énergies renouvelables. Awerbuch et sauter (2005) montrent qu'en valeur absolue, éviter les pertes en termes de PIB compenseraient significativement le coût additionnel lié à l'utilisation des énergies renouvelables. En remplaçant progressivement l'usage du gaz et du pétrole, des investissements reportés sur les énergies renouvelables peuvent aider les économies à éviter les pertes macroéconomiques induites par l'effet pétrole-PIB. Les auteurs montrent qu'une hausse de 10% de la part des énergies renouvelables évite des pertes de PIB de l'ordre de 29 à 53 milliards de dollars aux Etats-Unis et dans l'UE (de 49 à 90 milliards de dollars pour les pays de l'OCDE). Ces pertes évitées compensent 1/5 des besoins d'investissements en énergies renouvelables prévus par l'EREC (European Renewable Energy Council) et la moitié des investissements de l'OCDE. Pour les Etats-Unis, les chiffres montrent que chaque kW additionnel issu d'énergies renouvelables en moyenne évite 250 à 450\$ de pertes de PIB, ce chiffre variant considérablement en fonction des technologies considérées (200\$ par kW pour l'éolien et le solaire, 800\$ par kW pour la géothermie et la biomasse et probablement le nucléaire).

Outre les effets positifs sur les gains macroéconomiques à attendre du développement des énergies renouvelables, le fait que ces énergies participent au mix énergétique augmente la diversité. Augmenter corrélativement leur poids relatif, comme l'ont fait historiquement des pays comme la Finlande ou les Pays Bas, réduit les risques de portefeuille.

Dans Stirling (1994), l'auteur analyse la force de l'argument de diversité très souvent utilisé par le gouvernement anglais pour approuver une dépendance accrue à l'option Nucléaire dans le système anglais d'approvisionnement énergétique. Il montre que l'option Renouvelables apporterait les mêmes avantages de diversité avec un niveau sensiblement plus faibles de la « prime de diversité ». Ceci en dépit d'une méthode de classement traditionnelle (où les énergies renouvelables sont considérées comme bien plus hétérogènes que le nucléaire) et d'hypothèses de coûts en faveur du nucléaire.

⁴⁵ Les estimations AIE 2004 prévoyaient dans ce même contexte que l'indice des prix à la consommation serait en moyenne plus élevé de 0,5% en 2004 et 0,6% en 2005, le taux de chômage de 0,1% chacune de ces 2 années ; la perte nette de la balance courante s'élevant à 32 milliards en 2004 et 42 milliards en 2005.

3.3. L'efficacité énergétique

3.3.1. Maîtrise de la demande d'énergie et efficacité énergétique en Europe

3.3.1.1. La maîtrise de la consommation énergétique

L'efficacité énergétique est souvent associée dans la littérature académique ou institutionnelle à la maîtrise de la demande d'énergie, c'est-à-dire toutes les mesures permettant la réalisation d'économies d'énergie. La consommation d'énergie de l'Union européenne est, selon les estimations de la Commission, 20% supérieure à ce que justifie son activité économique. Il y a encore un large potentiel d'économies d'énergie non utilisé. Une partie peut être réalisée en améliorant l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques, point sur lequel la Commission a rédigé une nouvelle proposition. Elle y développe les objectifs à poursuivre, les incitations et les cadres institutionnels, financiers et juridiques nécessaires pour faire disparaître les obstacles existants et les imperfections en termes d'efficacité dans l'utilisation finale d'énergie. Cette directive de 2006⁴⁶ prévoit que les Etats membres se fixent un objectif indicatif de 9% d'économies d'énergie à l'échelle nationale pendant les 9 années d'application de la directive. L'article 14(2) de la directive prévoit par ailleurs que les Etats membres devront soumettre un Plan national d'action en matière d'efficacité énergétique (PNAEE) à la Commission d'ici juin 2007, montrant comment ils comptent atteindre l'objectif indicatif de 9% d'ici 2016⁴⁷. De plus, chaque Etat membre devra y décrire comment il compte se conformer aux dispositions concernant le rôle exemplaire du secteur public dans le domaine et l'offre d'information et de conseils aux consommateurs finaux.

Dans la version provisoire de son Plan national d'action en matière d'efficacité énergétique⁴⁸, adressée à la Commission en juillet 2007, la France définit les orientations de sa politique et les moyens à mettre en œuvre. Elle précise en préambule s'être engagée au second semestre 2007 dans un vaste programme de concertation, le « Grenelle de l'environnement », destiné à identifier et proposer un jeu de mesures significatives dans le domaine de l'environnement de court, moyen et long terme. L'un des thèmes est la lutte contre le changement climatique, et les travaux menés dans le cadre de cette concertation produiront des éléments qui viendront compléter cette première version du PNAEE français (la France s'engage à transmettre à la Commission européenne un PNAEE révisé fin 2007). Par ailleurs, le débat national sur les énergies lancé en janvier 2003 par le ministère de l'industrie a débouché sur la loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique n°2005-781 du 13 juillet 2005. Les débats ont confirmé les grands axes proposés par le Gouvernement tant en matière de maîtrise de la demande d'énergie qu'en ce qui concerne la diversification des sources d'approvisionnement énergétique et la recherche dans le domaine des énergies nouvelles. Des objectifs ambitieux de réduction d'émission de gaz à effet de serre et d'amélioration de l'efficacité énergétique de notre pays qui figuraient dans le projet du Gouvernement ont été retenus, ainsi que les moyens qui permettront de les atteindre.

Au-delà des grands objectifs de long terme définis par cette loi de programme de 2005 (indépendance énergétique nationale, prix compétitif de l'énergie, préservation de la santé humaine et de l'environnement, cohésion sociale et territoriale), 4 axes majeurs sont décrits :

⁴⁶ Directive 2006/32/CE du Parlement européen et du Conseil relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques, et abrogeant la directive 93/76/CEE du Conseil

⁴⁷ Les plans d'action nationaux par pays en termes d'efficacité énergétique sont consultables sur le site de la Commission européenne : http://ec.europa.eu/energy/demand/legislation/end_use_en.htm

⁴⁸ En application des articles 4 et 14 de la directive 2006/32/CE du Parlement européen et du Conseil du 5 avril 2006 relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques et abrogeant la directive 93/76/CEE du Conseil.

maîtriser la demande d'énergie, diversifier le bouquet énergétique, développer la recherche et l'innovation dans le secteur de l'énergie, assurer des moyens de transport et de stockage adaptés aux besoins. Derrière les orientations et les mesures d'efficacité énergétique envisagées, afin de réduire la consommation énergétique, il y a l'objectif central de réduction des émissions polluantes pour limiter le changement climatique.

La loi développe des orientations par secteur, à la suite desquelles est préconisé un ensemble de mesures. Parmi les orientations relatives au secteur résidentiel et tertiaire, l'Etat s'engage à abaisser régulièrement les seuils minimaux de performance énergétique, avec un objectif d'amélioration de 40% d'ici à 2020. Compte tenu d'un taux de renouvellement des bâtiments de moins de 1% par an, la priorité porte sur l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments anciens. Il s'agit également de développer des actions de rénovation du parc locatif aidé. Concernant le parc public, les partenariats entre secteur public et secteur privé sont utilisés pour promouvoir des actions d'économie d'énergie et de développement des énergies renouvelables. Dans le secteur des transports, la loi prévoit de favoriser l'adoption d'un règlement communautaire de réduction de la climatisation des véhicules ; la commercialisation et les aides (crédits d'impôt) concernant les véhicules peu polluants (GPL, GNV) ; l'information aux usagers ; la limitation volontaire de vitesse sur les véhicules ; l'amélioration des comportements de conduite des usagers (réduction de la vitesse). Il s'agit pour les collectivités territoriales de développer une politique d'urbanisme maîtrisée en matière de transport. Le développement du réseau de trains à grande vitesse est toujours un objectif prioritaire, afin de contenir le développement du transport aérien intérieur. Dans le secteur de l'industrie, l'Etat français s'engage à soutenir les efforts d'amélioration de l'efficacité énergétique des processus de production. La France propose la mise en place, dans le cadre communautaire, de seuils de consommation maximale des appareils électriques en veille, tendant vers une puissance appelée inférieure à 1 watt par appareil dans le cas général des équipements électriques de grande diffusion.

Associées à ces orientations, des mesures sont mises en place par la loi de programme : la transposition des dispositions législatives de la directive 2002/91/CE sur la performance énergétique des bâtiments (études préalables à la construction sur les sources d'approvisionnement énergétique, obligation du respect de caractéristiques thermiques sur certains bâtiments existants, inspections régulières des systèmes de climatisation et de chauffage et audits sur l'efficacité du parc des chaudières) ; la mise en place de DPE (diagnostic de performance énergétique) lors de la construction, la vente et la location de bâtiments ; l'obligation faite aux vendeurs d'énergie d'introduire la promotion des économies d'énergie dans leurs messages publicitaires ; l'introduction de la problématique énergétique dans les programmes scolaires ; la création d'un système de garantie d'origine pour les énergies renouvelables. Enfin, il est prévu d'étendre le rôle des collectivités territoriales en tant que vecteur central des politiques de maîtrise de l'énergie (sensibiliser, informer, inciter, montrer l'exemple) ; elles devront participer à l'amélioration des réseaux de distribution, imposer des actions d'économie d'énergie aux délégataires d'électricité, gaz et chaleur, réduire la consommation d'énergie de leurs services ; dans le cadre de leur politique d'urbanisme, il faudra veiller à implanter les nouveaux logements et activités à proximité des transports en commun (éviter un étalement urbain non maîtrisé).

Parmi l'ensemble des réglementations mises en place dans le cadre de la loi de programme de 2005, beaucoup concernent le secteur résidentiel et tertiaire responsable en France de 46% de la consommation d'énergie finale, devant le secteur des transports et de l'industrie. C'est donc dans ce secteur que des économies d'énergie substantielles peuvent

être réalisées. La plupart des réglementations concernant le secteur des transports sont d'ordre fiscal⁴⁹.

Dans le but de promouvoir l'efficacité énergétique, la Commission européenne prévoit également la mise en place d'un mécanisme de certificats blancs, élaboré dans le but d'atteindre les secteurs à faible consommation individuelle d'énergie mais qui constitue un potentiel important d'économies d'énergie. Du fait que le coût financier et humain à mobiliser serait trop important pour les autorités publiques, ce sont les fournisseurs et distributeurs d'énergie à qui incombe la charge de réaliser des économies d'énergie chez les consommateurs finaux. A la fin d'une période préalablement définie, ils doivent remettre aux autorités publiques la quantité de certificats correspondant à leur obligation (certificats qu'ils peuvent échanger entre eux). En théorie, l'intérêt de ce mécanisme est de pouvoir exploiter les opportunités de réduction de la consommation d'énergie dans les secteurs résidentiel, du petit tertiaire ou des transports. Par ailleurs, par rapport à une taxe, le certificat blanc repose sur la détermination préalable d'un certain volume d'économies d'énergie, défini dans un cadre réglementaire, ce qui peut constituer une certaine garantie de résultat. Enfin, la possibilité d'échanger des certificats s'inscrit parfaitement dans le contexte d'ouverture à la concurrence des marchés de l'énergie décidé par la Commission.

3.3.1.2. La notion d'efficacité énergétique

La consommation d'énergie n'est pas l'efficacité, notion complexe dont il faut préciser les contours avant de tenter de la mesurer⁵⁰. On mesure la consommation d'énergie d'une entreprise, d'un ménage, d'une ville, d'un pays voire même la consommation énergétique mondiale par la somme des sources primaires qui ont été transformées pour satisfaire les besoins énergétiques au cours d'une période de temps donnée. Cette quantité n'est pas celle qui a réellement servi à satisfaire les besoins de confort thermique, d'éclairage ou de moyens de transport. En effet, elle inclut une quantité plus ou moins importante de pertes. La plus ou moins grande efficacité d'un dispositif particulier traduit l'ampleur des pertes associées à toute conversion d'énergie. Le calcul usuel de l'efficacité énergétique est apparemment simple puisqu'il peut se résumer au ratio sortie/entrée, ou énergie utile/énergie primaire ou encore puissance nette/puissance brute. La complexité des calculs survient lorsqu'il s'agit de passer à l'efficacité globale de la consommation d'un système complexe, d'une économie nationale ; les difficultés tiennent aux incertitudes statistiques sur les diverses consommations ainsi que l'estimation correcte des consommations primaires et utiles⁵¹. Il faut appliquer à ces dernières un coefficient correcteur, permettant d'estimer que l'efficacité actuelle de la consommation d'énergie dans le monde est d'environ 37%, davantage dans les pays industrialisés (de 45 à 55%) et beaucoup moins dans les pays peu développés. L'efficacité énergétique aurait plus que triplé entre 1860 et 2000, avec des évolutions très différentes suivant les pays.

⁴⁹ Cf. l'ensemble des réglementations mises en œuvre dans le cadre de la loi de programme de 2005, inscrites dans la version provisoire du plan national de la France en matière d'efficacité énergétique.

⁵⁰ Les explications de Martin (2000) sont utiles pour préciser cette notion et on peut s'y référer pour plus de détails (Martin, J.M. (2000), « Consommation d'énergie et croissance économique », séminaire *L'énergie au 21^{ème} siècle : technique, économie, environnement*).

⁵¹ Les énergies primaires sont toutes les sources d'énergie à l'état brut, avant transformation. Pour les évaluer, on se place dans des conditions raisonnables d'utilisation et on va devoir mesurer l'énergie des sources fossiles et végétales et celle des énergies électriques provenant de différentes sources. Les énergies utiles sont toutes les sources d'énergies après transformation, donc répondant aux besoins de la société (chaleur basse, haute température, énergie mécanique, lumière...), que l'on doit reconstituer à partir d'une évaluation des pertes sur chaque chaîne énergétique, qui conduit à un indice moyen d'efficacité.

La directive communautaire relative à l'efficacité énergétique donne comme définition de l'efficacité énergétique, « le rapport entre les résultats, le service, la marchandise ou l'énergie que l'on obtient et l'énergie consacrée à cet effet »⁵². L'efficacité énergétique est surtout calculée dans l'acte de production. Le concept de processus efficace relève de la comparaison par rapport à une situation idéale ou un point de référence. Dans l'acte de production, on essaiera d'évaluer si la production nationale ou d'un secteur en particulier est devenue plus ou moins intense en énergie (intensité énergétique). Mais on peut également chercher à mesurer l'efficacité énergétique dans les actes économiques de consommation et d'approvisionnement. Dans l'acte de consommation, on peut par exemple évaluer si les consommateurs sont plus ou moins énergivores, et calculer ainsi l'évolution de la quantité d'énergie consommée par ménage. En termes d'approvisionnement énergétique, il peut s'agir d'estimer l'augmentation des infrastructures servant à la fourniture en énergies primaires, notamment à travers la densité des interconnexions de réseaux entre les pays.

3.3.2. L'efficacité énergétique de l'activité productive

3.3.2.1. L'intensité énergétique brute

La littérature utilise parfois le ratio de *productivité de l'énergie*, exprimée par le rapport entre la production et la quantité d'énergie utilisée pour la produire. Son utilisation est justifiée du fait que l'énergie peut être considérée comme un facteur de production, au même titre que le travail humain, le capital ou la terre à usage agricole, dont la productivité est couramment calculée par les économistes. Le ratio de productivité énergétique peut être considéré comme mettant l'accent sur l'usage productif de l'énergie, et comme une mesure complémentaire aux ratios de productivité du capital ou du travail. Ceci peut apporter un éclairage utile pour savoir si les inputs agissent comme des compléments ou des substituts aux autres facteurs⁵³.

Toutefois, au lieu d'utiliser ce ratio dont l'élévation signifierait la croissance de la productivité du facteur énergie, il est courant dans la littérature de calculer l'inverse de ce ratio, baptisé *intensité énergétique de l'activité productive*. De manière générale, elle est définie comme le ratio de l'énergie utilisée par rapport à une mesure de l'activité productive. L'intensité énergétique permet de donner une indication de l'efficacité d'utilisation de l'énergie pour produire de la valeur ajoutée. Une baisse de l'intensité énergétique est synonyme de plus grande efficacité.

L'intensité énergétique étant le rapport d'une production sur une quantité d'énergie utilisée, il faut déterminer comment définir ces deux entités. La contribution de Patterson (1996) est intéressante sur ce point car elle précise l'intérêt et les limites des différents indicateurs d'efficacité énergétique en fonction des différentes unités de mesure possibles rencontrées dans la littérature (unités thermodynamiques, physiques ou monétaires). Des indicateurs hybrides sont ceux où le produit est exprimé dans une unité différente de la quantité d'énergie utilisée⁵⁴. On utilise généralement un indicateur hybride, faisant référence

⁵² Directive 2006/32/CE du Parlement européen et du Conseil relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques.

⁵³ Voir Patterson (1996). L'auteur évalue à l'aide de ces ratios qu'en Nouvelle Zélande entre 1960 et 1985, l'énergie et le travail ont été de faibles substituts alors que l'énergie et le capital ont été faiblement complémentaires. Le ratio de productivité doit être interprété avec précaution pour éviter des conclusions erronées. Il peut décroître seulement du fait que l'énergie s'est substituée à un facteur de production, et non parce qu'il y a eu détérioration de l'efficacité énergétique.

⁵⁴ Un indicateur thermodynamique est un ratio d'efficacité énergétique mesuré à partir de valeurs issues de la thermodynamique (fonction d'état du processus), où il est fait référence à un système « idéal ». Un indicateur

pour le produit à une valeur monétaire et pour la quantité d'énergie, à une unité physique. L'intensité énergétique indique alors la quantité d'énergie qui a été consommée dans un cadre donné (entreprise, secteur, branche, pays...) à une date donnée, pour produire une unité de PIB, tous biens et services confondus :

$$E = \text{consommation d'énergie} / \text{output}$$

La consommation d'énergie est un volume physique, mesuré le plus souvent en termes de consommation d'énergie primaire (tep ou multiple du Joule), et l'output est une valeur économique exprimée en euro ou en dollar. D'une année sur l'autre, il faut s'assurer qu'il s'agit bien de valeurs constantes, déflatées à l'aide d'un indice des prix ; d'un pays à l'autre, il faut recourir à une même unité monétaire obtenue par taux de change ou parité de pouvoir d'achat.

On peut calculer plusieurs indicateurs d'intensité énergétique, en fonction de l'output considéré (production de biens, services, énergies). Il peut s'agir de la production totale d'un pays ou celle d'un secteur d'activité en particulier (industriel, résidentiel, commercial, transport). Concernant la quantité d'énergie nécessaire pour produire de l'énergie, on peut différencier l'intensité énergétique en fonction des différentes productions d'énergie ; il s'agit en particulier d'évaluer si des énergies nouvelles, prometteuses sur certains critères notamment le critère environnemental, ne nécessitent pas une quantité d'énergie trop importante pour les produire.

L'intensité énergétique globale I est le rapport de la consommation d'énergie (notée E) sur le PIB, défini comme la somme des productions des différents secteurs de l'économie :

$$I = E / \text{PIB} = \sum E_i / \sum A_i$$

E est la somme de l'approvisionnement total en énergies primaires, la consommation d'énergie finale totale et la consommation d'électricité totale dans l'économie considérée. Chaque branche ou secteur d'activité noté i est défini par une consommation d'énergie E_i et la production de chacun de ces sous-segments est notée A_i . Concernant les unités utilisées, la consommation d'énergie est exprimée en tep et celle d'électricité en kWh sur lequel on applique un coefficient de conversion. La production totale ou par secteur s'exprime en euros.

Il faut préciser une première limite de cet indicateur d'intensité énergétique global, à propos des interprétations qui peuvent en être faites. Les comparaisons entre pays ne sont pas immédiates du fait de leurs caractéristiques économique, sociales ou géographiques. Il faut interpréter les calculs, en tenant compte de cette hétérogénéité. Par exemple, les pays de taille importante ont des niveaux d'activités de transport de marchandises élevés pour distribuer les biens sur toute l'étendue du territoire. Les pays à climat tempéré consommeront moins d'énergie que les pays à climat froid ou très chaud, qui devront chauffer ou climatiser davantage. Autre exemple, les pays dont l'activité dépend largement des industries de matières premières consommeront davantage d'énergie que ceux qui importent ces matières du fait que la production de ces matières est très intense en énergie. Le Canada par exemple consomme beaucoup d'énergie car c'est un pays géographiquement étendu, qu'il y fait relativement froid et dont la production du secteur de matières premières est importante dans le produit intérieur brut. Le Japon présente une situation strictement inverse, et se caractérise par un ratio d'intensité énergétique globale relativement faible.

physico-thermodynamique est un indicateur hybride où l'input est défini en unités de thermodynamique et l'output, en unités physiques (par exemple, en tonnes). Un indicateur économique-thermodynamique est un indicateur hybride où l'input est en unités de thermodynamique et l'output en termes de prix de marché. Il existe enfin des indicateurs purement économiques où input et output sont évalués en termes monétaires.

D'autre part, il est également difficile de tirer des conclusions de cet indicateur en termes d'impact environnemental. En effet, un pays comme le Canada peut parallèlement à son activité de matières premières développer des énergies à faible impact environnemental (hydroélectricité, nucléaire et gaz naturel). Ainsi, améliorer l'efficacité énergétique va dans le sens du respect de l'environnement mais on ne peut pas considérer que cet indicateur d'intensité énergétique mesure une contribution directe à l'environnement.

Une deuxième limite de cet indicateur d'intensité énergétique globale, que nous traitons dans la sous-section qui suit, est liée au fait que les variations de cet indicateur ne sont pas nécessairement dues à une variation de l'efficacité énergétique mais par exemple à des changements d'ordre structurel (modification, dans le temps, de la structure économique). Le découpage en secteurs est un moyen de repérer les transformations de la structure économique. Mais d'autres facteurs sont à l'œuvre et il convient de procéder à une décomposition des différents types d'effets qui jouent sur l'intensité énergétique.

Une première étape de ce travail consiste à calculer les intensités énergétiques par secteur (industriel, des transports, résidentiel, tertiaire, agricole, de la construction, etc). On pourra constater à partir des données observées dans quelle proportion la part relative d'un secteur explique en partie la variation de l'intensité globale. L'intensité énergétique du secteur industriel mesure la consommation d'énergie par unité de valeur ajoutée du secteur industriel. Comme pour l'intensité globale, on peut découper chaque secteur en différentes branches, et isoler les industries intenses en énergie (la production manufacturée de fer et d'acier, de métaux non ferreux, de produits chimiques, de minerais non métalliques, de ciment et de pâte à papier...). Le produit économique peut être mesuré au moyen de la valeur ajoutée ou de la production brute. La production brute est plus stable dans le temps que la valeur ajoutée (qui dépend des variations du coût des inputs et du prix des outputs) mais présente l'inconvénient de la double comptabilité (les inputs d'une branche peuvent être les outputs d'une autre branche). La valeur ajoutée permet l'estimation des impacts de changements structurels sur la consommation d'énergie.

3.3.2.2. L'intensité énergétique nette

Comme souligné précédemment, à partir de données observées, on obtient la mesure brute de l'intensité énergétique. Pour mesurer le changement de l'intensité énergétique nette et être à même de mieux apprécier le véritable changement de l'efficacité énergétique, il faut apporter des corrections pour prendre en compte l'influence du changement de la structure de l'activité économique. C'est l'objectif visé par la décomposition en facteurs. En effet, un déplacement de l'activité économique vers des industries plus énergétivores se reflète dans la mesure brute de l'intensité énergétique comme une augmentation de la consommation d'énergie par unité d'output. Un tel changement ne doit pas être interprété comme une détérioration de l'efficacité énergétique. Une correction doit être apportée pour retirer cet effet et en arriver à une mesure nette de l'intensité énergétique⁵⁵.

Ainsi, une littérature sur l'efficacité énergétique développe l'intérêt de décomposer l'intensité énergétique en fonction des différents facteurs à l'origine de son évolution. Il est important de dissocier les « effets de contenu » (ou « effets d'intensité »), les « effets de structure » et les « effets d'activité »⁵⁶.

⁵⁵ Voir notamment Bernard et Idoudi (2003) pour une analyse du cas du Québec entre 1990 et 1998.

⁵⁶ Pour une présentation de la méthodologie sur la décomposition de ces effets, une grande partie de la littérature est recensé dans l'ouvrage « Energy Indicators for Sustainable Development : Guidelines and Methodologies », IAEA, 2005

Les effets de contenu mesurent les changements dans l'intensité énergétique du secteur ou de l'économie considéré ; ils sont essentiellement liés au progrès technique. Les effets d'activité mesurent l'impact sur la consommation d'énergie des changements dans le niveau d'activité du secteur ou de l'économie considéré. Les effets de structure mesurent les effets de la transformation de la structure économique sur la consommation d'énergie (importance relative des secteurs de l'économie)⁵⁷. Les effets d'activité et de structure peuvent être définis comme des effets sur la demande de services énergétiques⁵⁸. Ils reflètent l'évolution structurelle des économies et des activités humaines, susceptible d'entraîner des variations de la demande de services énergétiques. Ces variations peuvent accroître ou compenser les changements observés au niveau de l'efficacité énergétique. Par exemple, l'activité du transport aérien mesuré en passager-kilomètre⁵⁹ a augmenté plus vite que le PIB dans beaucoup de pays, plus que compensant le déclin de l'intensité énergétique du transport aérien (énergie par passager-kilomètre), avec pour conséquence l'augmentation de la consommation d'énergie dans le transport aérien par unité de PIB. L'intérêt est de montrer que la variation de la consommation d'énergie par unité de PIB est due à des facteurs autres que les seules variations de l'efficacité énergétique. Une diminution de la part des industries intenses en énergie (métaux lourds, chimie) par rapport à celles qui le sont moins (équipement de transport, alimentation) se traduit par une baisse de l'intensité énergétique, mais ne reflète pas nécessairement un accroissement de l'efficacité énergétique.

Ainsi même si la consommation d'énergie augmente sur un secteur, cela ne signifie pas nécessairement que les usagers sont moins efficaces mais le secteur a vu son niveau d'activité augmenter. Il y a des secteurs qui vont contribuer à diminuer l'intensité énergétique, en réduisant leur part d'activité économique. Certains secteurs voient au contraire augmenter leur intensité énergétique et leur activité. D'autres sont dans une position intermédiaire : ils réduisent leur intensité énergétique tout en augmentant leur part dans l'activité. Il est donc important d'évaluer parallèlement à l'évolution de la consommation énergétique de chaque secteur le niveau de progression de leur activité économique.

Des études historiques⁶⁰ montrent l'évolution de l'intensité énergétique dans les pays de l'OCDE, en distinguant l'influence des trois effets. Celle-ci a atteint un maximum lors de la première révolution industrielle, phénomène lié au développement de techniques plus intensives en énergie, à la substitution du charbon au bois et au développement des énergies marchandes. On observe ensuite une tendance de long terme de baisse de l'intensité énergétique : depuis la seconde guerre mondiale, l'intensité énergétique décroît de 0,7% en moyenne par an dans les pays de l'OCDE, quatre phases marquantes pouvant être définies. Les années 50 marque la décroissance de l'intensité énergétique, expliquée par la baisse du « contenu énergétique » de la production (baisse des coefficients techniques, liée au progrès technique, substitution du pétrole au charbon). Dans les années 60, on assiste à la stabilisation de ce ratio, du fait de la stabilisation du contenu énergétique et d'effets de structure qui se

⁵⁷ Les changements structurels sont toutes les transformations majeures survenant dans une économie et au niveau de tous les secteurs consommateurs d'énergie, qui peuvent affecter l'intensité énergétique mais ne peuvent être reliés à des améliorations de l'efficacité énergétique. Ils peuvent être une transformation de la structure de l'industrie (part relative des secteurs qui sont plus ou moins énergivores). Mais on peut également intégrer des modifications dans la structure de la population, comme une augmentation de la part des personnes âgées, qui ont tendance à chauffer davantage. Le climat est également un élément structurel déterminant.

⁵⁸ Le service énergétique peut être défini de manière synthétique comme « le bénéfice physique, l'utilité ou le bien résultant de la combinaison d'une énergie avec une technologie et/ou une action à bon rendement énergétique... » (directive relative à l'efficacité énergétique 2006/32/CE).

⁵⁹ Unité de mesure du trafic aérien correspondant à 1 passager transporté sur une distance de 1 kilomètre

⁶⁰ Villa (2000) et Martin (2000)

compensent⁶¹. La baisse de l'intensité énergétique dans la troisième phase (années 70 et 80) est expliquée par un effet de structure général (la consommation des ménages s'est substituée à celle des entreprises) et par un effet de contenu (la baisse de l'intensité énergétique au niveau microéconomique) pour les entreprises comme pour le transport. La baisse de l'intensité énergétique serait donc autonome (expliquée par une tendance du progrès technique) ou serait la conséquence des effets de structure. La stabilisation (économies d'énergie) depuis le début des années 90 seraient la conséquence combinée d'une action volontaire des pouvoirs publics, du progrès scientifique et d'une « bonne » spécialisation énergétique de la France. Depuis 15 ans, les transformations des systèmes énergétiques vers le développement des énergies de substitution aux énergies fossiles ont participé à la baisse de l'intensité énergétique.

La tendance de long terme de baisse de l'intensité énergétique, comprenant les effets techniques et les effets de saturation liés aux revenus, exprime la tendance séculaire du progrès technique.

3.3.3. L'efficacité énergétique de la consommation dans le secteur résidentiel, les activités tertiaires, et le secteur des transports

Le secteur résidentiel est un consommateur d'énergie important suivant les pays, qui se caractérise par des modes de consommation spécifiques. La question de l'amélioration de l'efficacité énergétique est une priorité pour de nombreux pays, car c'est un secteur où le potentiel d'économies d'énergies est un des plus importants. Comme nous l'avons souligné, de nombreux mécanismes et politiques visant à l'efficacité et aux économies d'énergies dans ce secteur ont été mises en place dans les pays, avec des orientations spécifiques en fonction de leurs caractéristiques culturelles, géographiques ou climatiques. En particulier, dans les pays froids, la composante chauffage dans la consommation finale d'énergie de ce secteur est un objectif central des politiques mises en place. Pour la plupart des pays, la composante appareils électromécaniques et éclairage demeure un axe central des mesures d'économies d'énergies.

L'intensité énergétique du secteur résidentiel correspond à la quantité d'énergie totale consommée dans le secteur résidentiel par personne, par ménage ou par unité de surface habitable.

Pour fournir une mesure précise de l'efficacité énergétique, cet indicateur global n'est pas satisfaisant et devrait être segmenté en fonction des différents types d'usages de l'énergie consommée. Ainsi, la quantité d'énergie totale consommée peut être utilisée pour le chauffage, l'éclairage, l'eau chaude, le fonctionnement des appareils électromécaniques. Les unités utilisées peuvent être la tep ou le kWh.

La difficulté de calculer de tels indicateurs sectoriels tient à la collecte des données. La consommation énergétique des ménages est recensée au niveau des statistiques nationales sur la base des données fournies par les fournisseurs d'énergie. Toutefois, ces derniers ne savent pas toujours précisément l'usage final qui est fait de l'énergie consommée par les ménages. Des informations supplémentaires peuvent être obtenues directement par la réalisation d'enquêtes auprès des ménages⁶².

⁶¹ La croissance de la consommation d'énergie dans le logement et le transport personnel, liée à l'urbanisation, et le développement de la chimie du pétrole compensent la baisse relative des activités productives traditionnelles consommatrices d'énergie.

⁶² Voir sur ce point IAEE (2005)

Le secteur des transports est également stratégique en matière d'efficacité énergétique, l'énergie consommée étant principalement les produits pétroliers. En France, le secteur des transports demeure le principal consommateur d'énergie, devant le secteur industriel. C'est un secteur qui participe activement à la raréfaction des ressources et au changement climatique. Toutefois, sur le plan économique et social, il représente un secteur stratégique en permettant les échanges de biens et services et la mobilité des personnes. Plus encore peut-être que dans les autres secteurs, il faut concevoir les mesures nécessaires en référence à un développement économique durable. Dans des pays comme la France ou l'Allemagne, la progression des biocarburants permet de concevoir à terme une moindre domination des énergies fossiles dans ce secteur.

Les indicateurs d'intensité énergétique calculés pour ce secteur doivent permettre de mesurer la quantité d'énergie nécessaire pour déplacer à la fois les biens et les personnes. Pour le transport de marchandises, l'intensité énergétique est mesurée par la consommation d'énergie, exprimée en tep, par unité de fret-kilomètre. Pour le transport de passagers, l'intensité énergétique est mesurée par la consommation d'énergie, exprimée en tep, par unité de passager-kilomètre. Au sein de ces deux branches, il faudrait pouvoir distinguer les différents types de biens et personnes transportées, et les différents modes de transport. Cette distinction est nécessaire à l'analyse économique, mais c'est une manœuvre qui peut poser certaines difficultés en matière de collecte de données.

3.3.4. Les gains liés à l'efficacité énergétique

Le principal bénéfice d'une amélioration de l'efficacité énergétique concerne les gains en matière de développement durable, que ce soit par le biais de la réduction des émissions polluantes, mais également par la réduction de l'utilisation des ressources. Bien qu'étant une composante essentielle dans le développement économique et social d'un pays, l'énergie et ses usages affectent la disponibilité des ressources et l'environnement. En particulier, la consommation d'énergies fossiles est parmi les principales causes de la pollution de l'air et du changement climatique. Dans ce contexte, l'amélioration de l'efficacité énergétique et la dissociation du développement économique de la consommation d'énergie sont des objectifs importants en termes de développement durable.

L'amélioration de l'efficacité énergétique a des effets différents suivant les secteurs. Certains processus industriels sont très intenses en énergie ; réduire l'intensité énergétique a un effet direct par rapport à l'objectif de développement durable, en promouvant une utilisation plus efficace des ressources en énergie.

Dans le secteur agricole, par exemple, la disponibilité en ressources énergétiques est un facteur clé de l'accroissement de la productivité de ce secteur et de l'amélioration des conditions de vie et de travail du monde agricole. Cet indicateur peut être utilisé pour orienter les politiques et des décisions d'investissement concernant les besoins en énergie à tous les stades de production agricole et l'efficacité énergétique. Les options énergies renouvelables telles que le solaire, l'éolien ou les bioénergies peuvent contribuer grandement à l'accroissement de l'efficacité du travail et la diversification des activités dans les zones rurales. On doit noter que les fonctions spécifiques de l'agriculture en tant que producteur d'énergie, mais également de rénovateur de l'écosystème agricole, sont des composantes importantes des programmes de développement durable dans certains pays.

Concernant le secteur des services, c'est un secteur moins intense en énergie que le secteur manufacturier. Toutefois, le secteur tertiaire est un gros consommateur d'électricité. Le développement durable nécessite des hausses d'efficacité énergétique dans tous les

secteurs afin de réduire la consommation globale d'énergie et diminuer les impacts environnementaux.

3.4. Les indicateurs de soutenabilité des choix énergétiques

Le caractère soutenable des choix énergétiques est une composante complexe de la vulnérabilité, faisant référence à plusieurs concepts importants de l'analyse économique dans le domaine de l'énergie, dont certains ne sont pas aisément mesurables. Elle mérite d'être précisée, car elle ne se cantonne pas à la signification littérale du terme « sustainable » en anglais, qui relève du caractère durable du développement.

On peut d'ores et déjà souligner que les processus de soutien et de surveillance aux mesures encourageant la diversité et l'efficacité énergétique constituent des leviers pour assurer la soutenabilité des choix énergétiques. Ils ne sont pas mesurables mais ils sont cependant déterminants dans un contexte de libéralisation des marchés. Ce sont l'ensemble des mécanismes, notamment institutionnels, qui oeuvrent dans le sens des critères de vulnérabilité, notamment les mécanismes de surveillance mis en place. L'importance de régulateurs indépendants, d'autorités publiques assurant l'efficacité des marchés, en contrôlant les processus de production, transformation et distribution d'énergie, la transparence de l'information sur vis-à-vis des consommateurs sont des composantes clés du bon fonctionnement à long terme des marchés énergétiques. Dans le cadre des programmes mis en place par la Commission européenne pour accompagner la libéralisation des marchés de l'énergie, le programme *Intelligent Energy – Europe*⁶³ constitue la structure d'un certain nombre de projets, dont le projet E-Track⁶⁴, allant dans ce sens.

Les sections qui suivent décrivent les composantes de la soutenabilité pouvant être mesurées à l'aide d'indicateurs.

3.4.1. La gestion du risque d'approvisionnement énergétique à long terme

Nous avons déjà évoqué, au niveau des indicateurs de diversité énergétique, l'intérêt de la contribution de Jansen et al. (2004). Ces derniers développent différents indicateurs à partir d'un indicateur de base de sécurité d'approvisionnement énergétique, l'indice de diversité de Shannon-Wiener, dont nous rappelons la formule :

$$\Delta_{ener} = -\sum_i c_{1i} p_i \ln p_i$$

A partir de cet indicateur, leur travail consiste à prendre en compte différentes dimensions pouvant avoir un impact sur l'approvisionnement. Le fait d'intégrer des dimensions comme la stabilité politique ou la raréfaction des ressources est un moyen d'intégrer les risques qui pèsent à long terme sur l'approvisionnement énergétique.

Prise en compte de la dépendance vis-à-vis des importations d'énergie et de la stabilité sociopolitique

Il s'agit d'intégrer, outre les importations d'énergie, un élément supplémentaire, le niveau de stabilité politique dans les régions exportatrices. L'indicateur de développement humain (IDH) des Nations Unies est proposé comme indice de la stabilité socioéconomique à long terme.

⁶³ Grant agreement no. EIE/04/141/S07.38594

⁶⁴ Concernant le projet E-Track et la signification des termes relatifs au mécanisme de *electricity tracking*, on peut consulter le site d'E-Track à l'adresse suivante : <http://e-track-project.org>

Les avantages de l'IDH sont nombreux. C'est un indicateur faisant autorité, calculé pour chaque pays, régulièrement mis à jour et facilement accessible en ligne⁶⁵. Les indices cherchant à évaluer directement le risque politique (tels Moody's, S&P, Fitch, etc.) sont trop vulnérables par rapport aux changements idéologiques des régimes politiques. L'indice des droits de l'homme (HRI, *Human Right Index*) serait susceptible de fournir une meilleure information de la stabilité socioéconomique d'un pays ou d'une région donnée. Mais les données émanent d'organismes privés et ne sont pas facilement disponibles.

La formule de ce troisième indicateur, tenant compte des importations d'énergie et du degré de stabilité politique des régions exportatrices, est la suivante :

$$\Delta_{import, stabilité} = -\sum_i c_{3i} p_i \ln p_i$$

Le facteur de correction est exprimé par l'expression $c_{3i} = 1 - m_i(1 - S_i^{m^*} / S_i^{m^*, \max})$ où $S_i^{m^*}$ est l'indice SWI des flux d'importations de l'énergie i , corrigé de la stabilité politique dans les régions d'origine :

$$S_i^{m^*} = -\sum_j h_j m_{ij} \ln m_{ij}$$

m_i représente la part des importations nettes dans la fourniture de la source d'énergie i , m_{ij} , la part des importations d'énergie i provenant de la région j dans le montant total des importations d'énergie i . h_j est le degré de stabilité politique de la région j , compris entre 0 (région très instable) et 1 (région très stable), mesuré par l'IDH⁶⁶.

Prise en compte de la dépendance vis-à-vis des importations d'énergie, de la stabilité socio-politique et de la raréfaction des ressources

Cet indicateur tient compte du niveau de raréfaction des ressources selon un mode de calcul additionnel. En théorie, la raréfaction des ressources peut jouer un rôle pour le charbon, le gaz, le pétrole, le nucléaire (l'uranium) et la biomasse (extraction non durable de la biomasse). A l'horizon 2040, les ruptures d'approvisionnement du fait de la raréfaction des ressources devraient seulement s'appliquer au pétrole et éventuellement au gaz. En effet, on observe des ratios réserves/production très élevés pour le charbon et pour le nucléaire (ressource primaire), un faible coût relatif de la ressource primaire dans l'électricité produite à partir des centrales nucléaires ; on observe par ailleurs une part de la biomasse moderne dans la fourniture d'énergie primaire des pays européens de l'OCDE qui devrait rester relativement modeste à l'horizon 2040 ; enfin, la place du charbon est amenée à se réduire dans un futur contraint par les émissions de carbone.

Le marché est censé réagir aux données sur les réserves prouvées plutôt que sur les spéculations relatives aux réserves finalement récupérables. L'information sur les réserves prouvées de charbon, de pétrole et de gaz est facilement disponible, par exemple sur le site BP⁶⁷. On suppose que les marchés énergétiques répondent d'abord aux informations sur les réserves prouvées lorsque les ratios réserves/production ont atteint des valeurs inférieures à 50.

La formule de cet indicateur, tenant compte des importations d'énergie, de la stabilité politique des régions productrices et des réserves prouvées en fonction de la production annuelle de la région concernée, est la suivante :

⁶⁵ <http://www.undp.org/hdro/>

⁶⁶ La valeur maximale de $S_i^{m^*}$ ($S_i^{m^*, \max}$) est égale à 2,77 (en tenant compte de 16 régions d'origine).

⁶⁷ <http://www.bp.com/centres/energy/index.asp>

$$\Delta_{import, stabilité, réserves} = -\sum_i c_{4i} p_i \ln p_i \quad \text{où } c_{4i} = [1 - (1 - r_{ik})(1 - m_i)] \times [1 - m_i(1 - S_i^{m^{**}} / S_i^{m^{**}, \max})]$$

Dans ce facteur de correction c_4 , la première expression entre crochets représente l'épuisement des ressources de la région concernée, et la seconde expression entre crochets, l'épuisement des ressources dans les régions d'origine. $S_i^{m^{**}}$ est l'indice SWI des flux d'importations de l'énergie i , corrigé de la stabilité politique dans les régions d'origine et de la raréfaction des ressources :

$$S_i^{m^{**}} = -\sum_j r_{ij} h_j m_{ij} \ln m_{ij}$$

m_i est toujours la part des importations nettes dans la fourniture de la source d'énergie i , m_{ij} , la part des importations d'énergie i provenant de la région j dans le montant total des importations d'énergie i , h_j , le degré de stabilité politique de la région j . r_{ij} est l'indice de raréfaction de la ressource i dans la région d'origine j . r_{ik} est l'indice de raréfaction de la ressource i dans la région concernée.

$$r_{ij} = \min\left\{\left[(R/P)_{ij}/50\right]^a; 1\right\} \text{ et } r_{ik} = \min\left\{\left[(R/P)_{ik}/50\right]^a; 1\right\} \text{ avec } a \geq 1^{68}$$

Ainsi, cet indicateur prend non seulement en compte l'épuisement des ressources de la région concernée mais également celui des régions d'origine.

3.4.2. Le taux d'interconnexion

Le taux d'interconnexion est défini comme le rapport de la somme des capacités de transport des lignes d'interconnexion sur la consommation de pointe du pays. Ce ratio est l'image de la capacité de secours qu'un pays peut attendre en cas d'incident de la part de ses voisins.

$$E = \frac{\text{transit}}{\text{capacités}}$$

Il mesure le rapport entre la capacité totale d'échanges du pays avec le reste de l'Europe et la capacité de production installée dans un pays. La capacité d'échange entre deux pays est la puissance électrique maximale qu'ils peuvent s'échanger sans pour autant saturer leurs lignes ou ne pas respecter les règles d'exploitation du réseau. La capacité de production installée est la somme de toutes les puissances électriques maximales que peuvent produire les centrales installées dans un pays.

Un taux d'interconnexion élevé peut améliorer d'une part l'efficacité de la production énergétique (économies d'échelle), et d'autre part accroître la sécurité de l'approvisionnement pour des pays faiblement dotés en ressources énergétiques.

En Europe, chaque marché national est dominé par un seul ou un petit nombre d'acteurs historiques. La taille des marchés nationaux et les rendements croissants de ces opérateurs historiques ne permettront pas, au sein de chaque pays, l'émergence d'acteurs en taille et en nombre suffisants sur le marché. Dès lors, seule l'échelle européenne offre un espace réellement concurrentiel. Ainsi, dans le domaine de l'électricité ou du gaz, ce n'est qu'en permettant à tout producteur ou commerçant européen de vendre dans des conditions équitables et transparentes à des clients sur tout le territoire européen que l'on pourra créer une véritable concurrence. La réalisation d'un tel marché européen dépend de la qualité des

⁶⁸ Par convention, $a=2$

interconnexions. En présence d'interconnexions insuffisantes ou dont l'usage présente un coût trop élevé, l'ouverture des marchés peut générer des effets pervers de position dominante ou d'entente implicite. La mise en place de systèmes de tarification non discriminants vis-à-vis des trafics nationaux et internationaux, harmonisés à l'échelle européenne, s'avère déterminante.

La qualité des interconnexions ne dépend pas seulement de cette harmonisation, mais également de l'importance accordée aux investissements physiques nécessaires à ces interconnexions. Les dispositifs nationaux de régulation et de tarification ne permettent pas aujourd'hui d'offrir aux opérateurs les incitations suffisantes pour réaliser des investissements transfrontaliers d'interconnexion. Il faut donc promouvoir une approche européenne volontariste pour l'intégration des marchés et leur interconnexion.

Au niveau français comme au niveau européen, la croissance de la consommation est relativement faible et la capacité installée est excédentaire, si bien que les prix moyens de l'électricité (25 €/MWh) sont aujourd'hui inférieurs au coût complet de production de n'importe quel moyen de production (environ 30 €/MWh pour le nucléaire)⁶⁹. Ceci pose la question des investissements de long terme sur un marché préoccupé par des considérations financières de court terme. Il est donc important d'envoyer de bons signaux économiques (rémunération des capacités de réserve, gestion des écarts, etc.), pour éviter une plus grande volatilité des prix, et, en situation de pointe extrême, l'offre pourrait être insuffisante.

Ce risque est renforcé par la stratégie des opérateurs dominants qui tentent de fusionner pour résorber les surcapacités et qui pourraient, dans certaines circonstances, organiser la pénurie pour faire augmenter les prix. À terme, le marché pourrait être dominé par une petite dizaine d'opérateurs très puissants (le cas du Royaume-Uni en est une illustration). Pour éviter les écueils, il faut développer les infrastructures de transport et faciliter ainsi la concurrence au-delà des frontières nationales, mettre en place une régulation cohérente au niveau européen et inciter les investissements de long terme, gage de sécurité d'approvisionnement. La crise californienne ou la faillite d'Enron ont montré que la libéralisation n'allait pas forcément de soi et qu'elle devait être accompagnée d'une régulation efficace.

Le plan d'interconnexion prioritaire de la Commission européenne⁷⁰ fixe cinq objectifs prioritaires : (1) repérer les infrastructures manquantes les plus importantes à l'horizon 2013 et envisager un soutien paneuropéen pour combler ces lacunes ; (2) nommer les quatre coordonnateurs européens pour superviser les quatre projets prioritaires que sont la liaison à grande puissance entre l'Allemagne, la Pologne et la Lituanie, les liaisons avec les parcs d'éoliennes en mer en Europe septentrionale, les interconnexions électriques entre la France et l'Espagne, le gazoduc Nabucco devant acheminer le gaz naturel de la Caspienne jusqu'en Europe centrale ; (3) parvenir à un accord sur une période maximale de 5 ans pour achever la planification des projets « d'intérêt européen » en matière de réseaux transeuropéens ; (4) examiner la nécessité d'accroître le financement des réseaux transeuropéens d'énergie, notamment en vue de faciliter l'intégration de l'électricité produite à partir de sources d'énergies renouvelables ; (5) mettre en place une nouvelle structure communautaire destinée aux gestionnaires de réseaux de transport, responsable de la planification coordonnée des réseaux.

Concernant le cas de la France jusqu'en 2004, les mécanismes de gestion des capacités d'interconnexion avec les pays voisins d'Europe étaient administrés : listes de priorité, ou

⁶⁹ Cf. Capgemini (2007)

⁷⁰ Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions – Plan d'interconnexion prioritaire – COM (2006) 846

mécanismes de prorata. Ces systèmes de gestion des congestions relevaient essentiellement d'une logique d'exportation, dans le cadre de contrats de long terme, de l'électricité d'origine nucléaire surabondante en France. L'établissement du marché européen de l'électricité oblige la France à faire évoluer ces mécanismes administrés afin de permettre aux opérateurs européens de s'échanger de l'électricité sur la base de contrats plus souples et à la concurrence de mieux se positionner. A cet effet, l'article 6 du règlement européen 1228/2003 du 26 juin 2003, pose ainsi les principes généraux de gestion de la congestion : « Les problèmes de congestion du réseau sont traités par des solutions non discriminatoires, basées sur le marché et qui donnent des signaux économiques efficaces aux opérateurs du marché et aux gestionnaires de réseaux de transport concernés. Les problèmes de congestion du réseau sont de préférence résolus par des méthodes indépendantes des transactions, c'est-à-dire des méthodes qui n'impliquent pas une sélection entre les contrats des différents opérateurs du marché »⁷¹.

3.4.3. Le caractère durable des choix énergétiques

La consommation mondiale d'énergie a été multipliée par 50 depuis les débuts de l'ère industrielle, accompagnant celle de la population (facteur 6) et celle de la production (facteur 50). Population et production étant amenées à croître, il est difficile de concevoir que la consommation d'énergie n'augmente pas à son tour, quels que soient l'impact du progrès technologique. Les risques environnementaux (épuisement des ressources, émissions et déchets polluants) associés à la consommation d'énergie sont d'autant plus préoccupants que des signaux de plus en plus évidents indiquent l'urgence de trouver des solutions de maîtrise de la consommation.

Un premier indicateur intéressant à calculer est la consommation par tête qui permet de relativiser l'importance ou au contraire la faiblesse des niveaux de consommation énergétique à partir de la densité démographique d'un pays. C'est un ratio intéressant à suivre dans le temps.

Quantifier précisément les pollutions émises et proposer des scénarios précis sur le phénomène de raréfaction des ressources constituent également un enjeu majeur pour les économies à l'heure actuelle.

Comme l'indique Bernard et Idoudi (2003), l'efficacité est directement associée à la durabilité dans le calcul d'indicateurs, dans la mesure où l'estimation des émissions et de l'épuisement des ressources est corrélée à la consommation énergétique. Dans la plupart des pays industrialisés, la mesure de l'évolution de la demande d'énergie se développe en trois étapes. D'une part, on évalue l'évolution de la demande d'énergie à partir d'une année de base par secteur (résidentiel, commercial, industriel, transport et agriculture) et par source (électricité, produits pétroliers, produits gaziers, charbon et résidus). D'autre part, on évalue la décomposition de son évolution en fonction de quatre facteurs : les changements du niveau d'activité économique, de la structure de l'activité économique, de la température et de l'efficacité énergétique. L'intensité énergétique est la mesure utilisée pour tracer l'évolution de l'efficacité énergétique (cf. section précédente relative à l'efficacité). Le troisième volet des analyses de la demande d'énergie établit un lien avec les émissions de gaz à effet de serre. Ceci permet d'apprécier les rôles joués par l'évolution de la demande d'énergie et la composition de cette demande par source à l'égard de ces émissions.

⁷¹ cf. notamment le rapport de la CRE (2007)

Dans ce qui suit, nous recensons certains indicateurs de développement durable que nous jugeons particulièrement pertinents dans le cadre d'une analyse de la vulnérabilité énergétique, au sein d'une littérature qui est particulièrement abondante. En effet, la composante environnementale est désormais partie intégrante de tous les indicateurs de développement humain et de progrès. Nous devons repérer exclusivement ceux qui peuvent servir à mesurer la vulnérabilité dans le cadre d'un pays donné. L'ouvrage de l'AIE (2005)⁷² est particulièrement utile dans cette démarche. Bien que recensant un grand nombre d'indicateurs environnementaux, dont tous ne seront pas utiles à notre analyse, cet ouvrage précise la plupart des indicateurs pertinents, associés aux méthodes de calcul et aux difficultés rencontrées pour réaliser ces calculs.

Un premier type d'indicateur mesure la quantité d'émissions de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane et oxyde d'azote) émanant de la production et de la consommation d'énergie, exprimée en tonnes, calculé par tête ou par unité de PIB :

$$S_1 = \text{émissions} / \text{population totale} \text{ ou } S_2 = \text{émissions} / \text{PIB}$$

Comme pour la plupart des indicateurs, la difficulté tient à la disponibilité des données. Il y a peu de données disponibles concernant le méthane et l'oxyde d'azote. Concernant les émissions de CO₂, on peut se référer aux données de l'AIE et de la Banque Mondiale qui constituent une base relativement fiable à l'échelle internationale⁷³.

Il est intéressant de mesurer la concentration de polluants atmosphériques par grandes zones urbaines. Là encore, le problème des données constitue une difficulté car il dépend beaucoup de la qualité de la collecte d'informations sur le plan local et régional. Il existe cependant des études agrégeant un certain nombre de données, provenant notamment de l'OMC⁷⁴.

Un deuxième type d'indicateur concerne la quantité de déchets générés par la production d'énergie. Il s'agit de mesurer la quantité de déchets solides (hors déchets radioactifs) produits annuellement par les activités d'extraction et de conditionnement des énergies primaires, ajoutée aux déchets produits dans les centrales thermiques, par unité d'énergie produite (exprimée en tep ou MWh). Les données sont souvent de mauvaise qualité, mais elles sont tout de même assez aisément disponibles, notamment à l'échelle communautaire.

Le ratio des quantités de déchets radioactifs par unité d'énergie produite est calculé séparément. Il évalue le montant de matières radioactives principalement dégagées par le cycle de production d'énergie nucléaire. Il est exprimé en m³ de déchets radioactifs et en tonnes de métaux lourds (tHM) par TWh d'électricité produite ou par tep ou exajoule (EJ) d'énergie finale produite. Les données sont notamment disponibles auprès de l'AIE.

Un troisième type d'indicateur concerne les ratios d'épuisement des ressources. Le site de BP fournit l'ensemble des données à l'échelle mondiale et constitue une source importante en matière de données pour calculer ces ratios.

⁷² "Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies", IAEA, 2005

⁷³ L'AIE produit annuellement les quantités d'émissions de CO₂ par carburant et par secteur, relative à la production d'électricité et de chaleur (*CO₂ Emissions from Fuel Combustion*). Le rapport annuel de la Banque Mondiale, *World Development Indicators*, fournit des données sur les émissions de CO₂ pour l'énergie et le secteur industriel.

⁷⁴ Voir sur ce point IAEE (2005)

Le calcul de ces indicateurs permet de constater si les orientations définies à l'échelle communautaire et à l'échelle mondiale (Kyoto) sont suivies par les différents acteurs du monde énergétique.

Concernant la France, en conformité aux axes centraux de la politique énergétique définis par la loi de programme de 2005, elle s'est fixée, dans le cadre de cette loi, des objectifs chiffrés ambitieux : le soutien à un objectif international d'une division par 2 des émissions mondiales de gaz à effet de serre d'ici 2050, ce qui nécessite une division par 4 ou 5 des émissions pour les pays développés ; la lutte contre le changement climatique est une priorité de la politique énergétique qui vise à diminuer de 3% par an en moyenne les émissions de gaz à effet de serre de la France. En conséquence, l'Etat élabore un « plan climat » actualisé tous les deux ans, présentant l'ensemble des actions nationales mises en œuvre pour lutter contre le changement climatique. La réduction de 2% par an d'ici à 2015 de l'intensité énergétique finale (rapport entre la consommation d'énergie et la croissance économique) et de 2,5 % d'ici à 2030.

La loi développe des orientations par secteur, et préconise un ensemble de mesures. Par exemple, dans le secteur résidentiel et tertiaire, parmi les orientations, l'Etat s'engage à abaisser régulièrement les seuils minimaux de performance énergétique, avec un objectif d'amélioration de 40% d'ici à 2020. Compte tenu d'un taux de renouvellement des bâtiments de moins de 1% par an, la priorité porte sur l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments anciens afin de diviser par quatre les émissions de dioxyde de carbone avant 2050.

Dans le secteur des transports, principale source de pollution de l'air et d'émission de gaz à effet de serre, l'Etat veille à réduire, autant que possible, toutes les émissions polluantes des véhicules par le biais d'une réduction des émissions individuelles moyennes de dioxyde de carbone des automobiles neuves à 120 grammes de dioxyde de carbone émis par kilomètre parcouru à l'horizon 2012 ainsi que la définition d'un objectif de réduction des émissions pour les véhicules utilitaires légers, les poids lourds et les véhicules à deux roues. Il est également prévu la mise en place d'un plan « transports, urbanisme, effet de serre » qui sera finalisé en décembre 2007. Ce plan vise à fixer un objectif intermédiaire à 2020-2025 de réduction des émissions de gaz à effet de serre et des mesures pour l'atteindre. Dans le secteur de l'industrie, l'Etat appuie les efforts déjà entrepris pour améliorer l'efficacité énergétique des processus de production mais aussi pour favoriser la diffusion de procédés non émetteurs de gaz à effet de serre, notamment avec le développement d'un système d'échange de quotas d'émissions au sein de l'Union européenne.

Le mécanisme des quotas d'émission a également été introduit afin de créer un cadre incitatif pour permettre de réduire les émissions.

3.4.3. La construction d'un indicateur de crédibilité

Nous faisons référence dans cette sous-section à un article de recherche élaboré dans le cadre de ce contrat sur la vulnérabilité⁷⁵.

La question posée initialement dans l'article est de s'interroger sur la crédibilité des politiques de développement d'énergies de substitution aux énergies fossiles. L'intuition consiste à supposer que le gouvernement qui souhaiterait mettre en place de telles politiques de soutien aux énergies propres est soumis au dilemme relatif à la perte de recettes fiscales

⁷⁵ Cet article, intitulé *The Time-Inconsistency of Alternative Energy Policy*, co-écrit avec Thierry Vignolo et Jacques Percebois, a été présenté à l'IAEE European Energy Conference 2007 (Florence), à l'EEA-ESEM 2007 (Budapest), et accepté dans la revue *Economics Bulletin*

qu'un abandon progressif des énergies fossiles entraînerait. Le gouvernement oscille entre cette perte de recettes et sa préférence pour les énergies propres, face à des agents économiques rationnels, conscients de l'importance des recettes énergétiques dans le budget public et caractérisés eux-mêmes par une préférence pour les énergies propres. Un résultat du papier est de montrer que le gouvernement ne sera pas nécessairement crédible aux yeux des agents par les subventions qu'il accorde sur les énergies de substitution au pétrole mais en démontrant qu'il souhaite s'engager dans une politique de réduction progressive des recettes sur les produits pétroliers.

L'article permet de définir un intervalle de crédibilité. Cet intervalle dépend à la fois de la préférence du gouvernement pour les énergies de substitution aux énergies fossiles et de la préférence du public pour ces énergies alternatives.

Un prolongement intéressant de l'article serait de mesurer les préférences du gouvernement et du public, afin de constater suivant les pays s'il existe un intervalle de crédibilité pour le gouvernement et le degré de marge de manœuvre dont il dispose. Nous proposons une piste de recherche sur ce point.

On peut tenter de mesurer la préférence du gouvernement pour les énergies de substitution au pétrole à partir du concept de dépenses fiscales (*tax expenditures*)⁷⁶. La dépense fiscale peut prendre différentes formes, comme les exemptions fiscales, les crédits d'impôt, etc., et peut être représentative de la disposition d'un gouvernement à promouvoir les énergies de substitution, et donc révéler sa préférence pour ce type d'énergies.

Concernant la préférence du public pour les énergies de substitution, on peut envisager une mesure par la disposition à payer, tout en considérant les limites associées à ce type d'enquêtes (notamment, le problème du *do-say gap*⁷⁷). De nombreux travaux mesurant les préférences des agents à partir d'un processus d'enquête utilisant la méthode d'évaluation contingente ont été menés. Cette méthode de valorisation à partir de préférences révélées porte systématiquement sur un type d'énergie particulier, par exemple l'électricité verte ou les véhicules intégrant des piles à combustibles (hydrogène). A notre connaissance, aucune étude cherchant à agréger les données sur différentes énergies et proposant aux individus de donner une valeur aux énergies de substitution au pétrole n'a été menée. Il serait intéressant d'envisager une enquête demandant aux individus quelle part de leur revenu seraient-ils prêts à verser pour voir de développer des énergies alternatives au pétrole.

⁷⁶ Cf. Kraan D.-J. (OECD, 2004) pour une définition détaillée du concept de dépenses fiscales. Voir également GAO (2005)

⁷⁷ Ce problème du *do/say gap* est notamment constaté avec la mise en place d'un marché de l'électricité verte en Europe. Dans les pays où des enquêtes ont été menées à partir de la définition d'un marché contingent de l'électricité verte, puis où ce marché s'est effectivement mis en place, on observe un décalage considérable dans les pourcentages d'individus disposés à payer une certaine somme pour de l'électricité verte. Sur le marché contingent, lors de l'enquête, plus de 80% des individus déclaraient une disposition à payer ; dans la réalité, la proportion n'atteignait pas 5%, sans que ce résultat ne puisse s'expliquer par un différentiel de prix rédhitoire. On peut consulter sur cette question la thèse de Dorian Litvine soutenue en 2008 (CREDEN), et l'enquête menée dans le cadre du CREDEN par Agnès d'Artigues, intitulée « La mesure de la disposition à payer des individus pour de l'électricité verte : une approche par l'évaluation contingente » (Programme Socio-économie de l'énergie, CNRS)

4. Analyse comparative de la vulnérabilité énergétique des pays de l'Europe des 15

4.1. La diversité énergétique

4.2. La soutenabilité énergétique

4.3. L'efficacité énergétique

Cette section a pour objectif de calculer les indicateurs de vulnérabilité recensés dans le tableau synthétique en annexe G, par thème (diversité, efficacité et soutenabilité). Les calculs sont faits pour les pays de l'Europe des 15.

L'analyse de la *diversité énergétique* est centrale dans l'analyse de la vulnérabilité, ce qui a nécessairement guidé la collecte des données. La partie *intensité énergétique* aurait pu être développée davantage, notamment par une analyse détaillée par secteur, ce qui peut constituer un prolongement intéressant de ce rapport. De la même manière, la question de la *soutenabilité énergétique* a fait l'objet d'un article théorique relatif à la crédibilité des politiques énergétiques. Celle-ci dépend des efforts réalisés historiquement par les gouvernements pour soutenir les énergies de substitution aux énergies fossiles. Un prolongement de cet article serait de mesurer quantitativement ces politiques incitatives par des indicateurs appropriés. C'est également un prolongement possible de la présente analyse.

L'analyse débute par les indicateurs de *diversité énergétique*, qui représente un facteur essentiel de la vulnérabilité énergétique des pays. Elle dépend de deux déterminants : la richesse en énergies fossiles, d'une part, les efforts des pays pour diversifier les sources d'énergies primaires et les pays fournisseurs, d'autre part. Concernant le premier déterminant, la richesse en ressources, elle ne dépend pas des choix de politiques énergétiques des pays ; ceux qui en sont dotés bénéficient d'un don de la nature. Pour le second déterminant, il dépend de la stratégie des pays en matière de politique énergétique.

Dans un premier temps, ces stratégies de diversification sont mises en avant dans l'analyse. Plusieurs stratégies sont possibles : elles sont basées sur la diversification des sources d'énergies primaires, la diversification des pays fournisseurs et le choix de ces pays, en fonction de leur zone géographique. Outre l'analyse comparative des pays de l'Europe des 15, il est intéressant de constater l'évolution sur la période 1990-2004, l'indice de diversité de chaque pays par rapport à la moyenne européenne ainsi que les pays ayant la progression la plus significative en matière de diversification pour chacun des indices calculés.

Dans un second temps, les résultats sont confrontés à la richesse en ressources, au moyen d'indicateurs synthétiques intégrant, outre la diversification des pays fournisseurs, un facteur de correction tenant compte de la production intérieure d'énergies primaires de chaque pays. Ce calcul montre finalement que dans le classement des pays en matière de diversité, la richesse en ressources est déterminante.

4.1. La diversité énergétique

4.1.1. La diversité des sources d'énergies primaires et des pays fournisseurs

En matière de diversité énergétique, le premier indicateur est basé sur le nombre et les parts relatives de sources d'énergies primaires composant le bouquet énergétique des pays. Un indicateur élevé traduit une plus grande diversification, liée aux stratégies des gouvernements en matière de sources d'approvisionnement énergétique.

Les tableaux des parts respectives d'énergies primaires dans l'approvisionnement énergétique de chaque pays, ayant servi à calculer les indices du tableau 4.1 qui suit, sont présentés en annexe A.

Tableau 4.1. Indice Shannon-Wiener de diversité des sources d'énergies primaires des pays de l'Europe des 15

	1990	1997	1999	2001	2003	2004	Variation
Finlande	1,5	1,53	1,53	1,55	1,55	1,55	+3%
Allemagne	1,33	1,38	1,40	1,41	1,43	1,44	+8%
Belgique	1,4	1,36	1,36	1,36	1,37	1,38	-1%
Espagne	1,31	1,32	1,30	1,33	1,37	1,37	+5%
France	1,38	1,35	1,36	1,34	1,34	1,34	-3%
Danemark	1,14	1,24	1,25	1,27	1,32	1,32	+16%
Royaume Uni	1,29	1,32	1,31	1,32	1,32	1,31	+2%
Suède	1,29	1,30	1,29	1,31	1,31	1,31	+1%
Autriche	1,31	1,29	1,29	1,30	1,28	1,29	-2%
<i>Moy. européenne</i>	<i>1,20</i>	<i>1,20</i>	<i>1,20</i>	<i>1,21</i>	<i>1,23</i>	<i>1,23</i>	
Pays-Bas	1,12	1,09	1,09	1,10	1,12	1,13	+1%
Portugal	0,84	0,87	1,02	1,07	1,12	1,13	+34%
Italie	1,02	1,02	1,05	1,07	1,09	1,12	+10%
Grèce	0,87	0,87	0,98	0,99	1,01	1,02	+18%
Irlande	1,1	1,08	1,03	1,05	1,04	1,01	-8%
Luxembourg	1,04	0,92	0,78	0,76	0,77	0,77	-26%

Pour tous les pays inscrits dans la partie supérieure du tableau, cinq sources d'énergies primaires (combustibles solides, pétrole, gaz naturel, nucléaire et renouvelables) composent leur approvisionnement énergétique, hormis le Danemark et l'Autriche. Pour ces deux pays, le nucléaire est inexistant mais ces deux pays se caractérisent par ailleurs par une stratégie marquée de développement des énergies renouvelables (Danemark 15% et Autriche 21% en 2004).

L'importance de l'indice pour la Finlande tient d'une part au fait que contrairement à certains pays de l'Europe des 15, le nucléaire est bien présent dans son approvisionnement énergétique. D'autre part, depuis 15 ans, le pétrole qui était la source d'énergie dominante a vu sa part fortement diminuer au profit du gaz mais surtout des énergies renouvelables (la deuxième source d'énergie, représentant 23% de son approvisionnement énergétique en 2004). Enfin, le charbon a été maintenu comme une source d'énergie non marginale, voire en légère progression, ce qui est spécifique à la Finlande par rapport à ses partenaires européens. Ainsi, on observe que ce pays se distingue par rapport aux autres par un équilibre dans les parts relatives des énergies composant son approvisionnement.

Pour les mêmes raisons, liées à la diversité de son approvisionnement et une relative homogénéité des parts des différentes énergies, l'Allemagne appartient au groupe de tête. Bien que les énergies renouvelables ne représentent que 4% de son approvisionnement, leur part a cependant doublé depuis 1990. On note les efforts de ce pays pour développer des énergies de substitution aux énergies fossiles.

La Belgique et l'Espagne sont également bien placées, ce qui est lié pour la première au choix du nucléaire comme une importante source d'énergie, et pour l'Espagne à sa politique historique de développement des énergies renouvelables.

Le positionnement de la France qui demeure dans le groupe de tête, mais loin derrière la Finlande, tient principalement au poids du nucléaire (42% de son approvisionnement, par rapport aux 15% de la moyenne européenne). Par ailleurs, la place du charbon est devenue de plus en plus marginale.

La forte progression du Portugal tient à l'introduction du gaz dans son approvisionnement à la fin des années 1990 (et la réduction de la place du pétrole).

Un autre déterminant de la diversité énergétique concerne le nombre et les parts relatives des pays fournisseurs d'énergies primaires. Pour cet indicateur comme pour le précédent, une valeur élevée signifie un degré de diversification important.

On débute par le pétrole, pour traiter ensuite du gaz naturel et du charbon qui sont les deux autres énergies primaires importées. On trouvera en annexe B les tableaux récapitulatifs des parts relatives des pays fournisseurs de pétrole des pays de l'Europe des 15 ayant servi au calcul de cet indicateur.

Tableau 4.2. Indice Shannon-Wiener de diversité des pays fournisseurs de pétrole des pays de l'Europe des 15

	1997	1999	2001	2003	2004	2005	Variation
Espagne	2,42	2,49	2,47	2,36	2,42	2,44	+1%
France	2,24	2,30	2,36	2,24	2,24	2,29	+3%
Portugal	2,18	2,25	2,30	2,21	2,27	2,24	+3%
Italie	2,02	2,09	2,11	2,06	2,01	1,97	-2%
Pays Bas	1,95	2,07	2,07	1,93	1,81	1,96	+1%
Allemagne	2,02	2,00	1,93	1,84	1,73	1,83	-10%
Belgique	1,69	1,90	1,92	1,96	1,81	1,77	+4%
Autriche	2,10	2,06	1,97	1,87	1,74	1,50	-28%
Suède	1,83	1,53	1,64	1,56	1,58	1,49	-19%
<i>moyenne européenne</i>	<i>1,49</i>	<i>1,52</i>	<i>1,56</i>	<i>1,48</i>	<i>1,42</i>	<i>1,43</i>	<i>-4%</i>
Royaume Uni	1,15	1,19	1,36	1,22	1,06	1,41	+22%
Grèce	1,35	1,34	1,44	1,34	1,32	1,30	-3%
Finlande	1,30	1,22	1,23	0,85	0,60	0,68	-47%
Irlande	0,00	0,20	0,51	0,74	0,72	0,54	+172%
Danemark	0,16	0,12	0,14	0,00	0,00	0,00	-100%
Luxembourg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

La diversité s'exprime ici en fonction du nombre de pays fournisseurs et de l'importance relative de chaque fournisseur dans l'approvisionnement en pétrole du pays considéré.

Le bon positionnement de la France tient au nombre important de ses fournisseurs de pétrole ainsi qu'à une plus grande homogénéité de leurs parts relatives. La France a quatre fournisseurs historiques (Arabie Saoudite, Norvège, ex-URSS et Royaume-Uni). La baisse de la part du Royaume Uni dans l'approvisionnement de la France s'est faite en faveur de l'ex-URSS mais également des petits pays fournisseurs, comme la Libye, l'Angola ou l'Algérie.

Cette situation de la France ou de l'Espagne contraste avec celle de l'Allemagne, certes bien diversifiée au niveau de ses fournisseurs mais qui depuis 1997 a considérablement renforcé la position de l'ex-URSS dans son approvisionnement (cette part a doublé pour atteindre 42% en 2004). On peut faire le même constat pour l'Espagne, bien diversifiée en termes de fournisseurs, et qui a fait progresser la part de ses petits fournisseurs, tout en augmentant les importations de pétrole en provenance de la Russie.

La Finlande a privilégié également une stratégie de concentration de son approvisionnement autour de 3 fournisseurs (Russie, Danemark, Norvège) alors que ce pays était beaucoup plus diversifié au niveau de ses fournisseurs en 1997 (on observe notamment que l'Arabie Saoudite représentait 11% des importations de la Finlande, et depuis 2003 cette part est proche de 0). Même scénario pour l'Autriche dont 15% et 17% de ses importations étaient assurés respectivement par la Libye et l'Algérie ; ces deux pays ne représentent quasiment plus rien dans l'approvisionnement de l'Autriche.

Le Royaume Uni voit son indice progresser du fait que 72% de son approvisionnement en pétrole était assuré par la Norvège en 1997 contre 62% en 2004, ce qui tend à homogénéiser les parts de ses différents fournisseurs.

Enfin, l'Irlande enregistre la plus forte progression de l'indice, due au fait que la totalité du pétrole importé provenait de Norvège. En 2004, le Royaume Uni assure 23% de cet approvisionnement, et « plus que » 77% du pétrole provient de Norvège.

Le même exercice peut être reproduit pour les pays fournisseurs de gaz naturel.

Tableau 4.3. Indice Shannon-Wiener de diversité des pays fournisseurs de gaz des pays de l'Europe des 15

	1997	1999	2001	2003	2004	2005	Variation
France	1,35	1,37	1,56	1,54	1,58	1,73	28%
Espagne	1,02	1,13	1,44	1,35	1,45	1,68	64%
Italie	0,97	0,91	1,22	1,42	1,50	1,54	58%
Belgique	1,10	1,28	1,24	1,30	1,30	1,33	21%
Allemagne	1,20	1,20	1,23	1,20	1,19	1,21	0%
Pays Bas	0,31	0,86	1,03	1,31	1,20	0,93	200%
<i>Moy. européenne</i>	<i>0,45</i>	<i>0,50</i>	<i>0,69</i>	<i>0,64</i>	<i>0,66</i>	<i>0,68</i>	
Royaume Uni	0,00	0,00	0,68	0,45	0,60	0,68	1%
Portugal	0	0	0,35	0,47	0,66	0,66	91%
Grèce	0	0	0,57	0,54	0,47	0,43	-25%
Danemark	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
Luxembourg	0,29	0,24	0,37	0,00	0,00	0,00	-100%
Finlande	0	0	0	0	0	0	
Irlande	0	0	0	0	0	0	
Suède	0	0	0	0	0	0	
Autriche	0,44	0,51	0,67	0,00	0,00	0,00	-100%

On observe un premier groupe de pays, dans la partie supérieure du tableau. Ce sont les pays qui ont choisi de diversifier les pays les approvisionnant en gaz naturel. Le bon positionnement de la France tient d'une part à l'homogénéisation des parts relatives de ses fournisseurs de gaz, qui sont en outre nombreux (Norvège, ex-URSS, Pays-Bas, Algérie, Nigéria). D'autre part, le Nigéria fait désormais partie des pays exportateurs de gaz vers la France (8% de ses importations en 2005). C'est également le cas de l'Italie, qui compte depuis le début des années 2000 la Norvège et la Libye parmi ses pays fournisseurs de gaz, ou encore l'Espagne, qui ne compte pas moins de 10 pays fournisseurs de gaz, avec l'Algérie qui assure 43% de ses approvisionnements en 2005. L'augmentation très nette de l'indice pour les Pays Bas s'explique par le fait que 90% de ses importations de gaz étaient assurées en 1997 par la Norvège, le reste par le Royaume Uni. En 2005, la part de la Norvège ne représente plus que 30%, l'Allemagne (avec 58%) et la Belgique approvisionnant également les Pays Bas en gaz.

Le deuxième groupe (bas du tableau) est constitué par des pays qui ont deux voire un seul fournisseur historique de gaz naturel. En 1997, le Portugal et la Grèce étaient fournis en gaz naturel par un seul pays (l'Algérie pour le Portugal et les pays de l'ex-URSS pour la Grèce). Désormais, ces deux pays s'approvisionnent auprès de deux fournisseurs, la Grèce ayant recours à l'Algérie qui représente 16% de ses importations, et le Nigéria représente en 2005 38% de celles du Portugal. Certains pays comme l'Irlande, la Finlande et la Suède, ont conservé un seul fournisseur historique (le Royaume Uni pour l'Irlande, l'ex-URSS pour la Finlande et le Danemark pour la Suède). Le Danemark est quant à lui un exportateur net de gaz naturel.

Le charbon est la troisième énergie primaire importée par les pays européens. On observe globalement à l'échelle européenne une diminution de la part du charbon dans l'approvisionnement énergétique de la quasi-totalité des pays. Par ailleurs, certains pays comme la France ont abandonné le charbon dans leur production intérieure. On se reportera en annexe B et à l'état des lieux énergétique pour les tableaux récapitulatifs sur le cas du charbon.

Tableau 4.4. Indice Shannon-Wiener de diversité des pays fournisseurs de charbon des pays de l'Europe des 15

	1990	1995	1997	1999	2001	2003	2004	2005	Variation
France	2,04	2,01	1,95	2,00	2,15	2,04	2,07	2,12	4%
Italie	1,18	1,57	1,65	2,06	1,96	1,88	1,97	1,94	65%
Pays-Bas	1,69	2,00	1,98	1,99	1,99	1,88	1,96	1,93	14%
Allemagne	1,78	1,96	1,85	2,01	2,22	1,99	2,01	1,91	7%
Espagne	1,51	1,48	1,74	1,76	1,80	1,68	1,68	1,79	19%
Belgique	1,60	1,63	1,76	1,75	1,76	1,59	1,73	1,68	5%
Royaume Uni	1,80	1,80	1,73	1,86	1,92	1,60	1,82	1,64	-9%
Danemark	1,63	1,75	1,65	1,53	1,58	1,83	1,80	1,60	-2%
Irlande	1,49	1,52	1,37	1,48	1,95	1,59	1,11	1,56	4%
<i>Moy. Européenne</i>	<i>1,44</i>	<i>1,39</i>	<i>1,45</i>	<i>1,52</i>	<i>1,66</i>	<i>1,51</i>	<i>1,49</i>	<i>1,51</i>	<i>4%</i>
Portugal	1,28	1,56	1,44	1,51	1,52	1,37	1,26	1,29	0%
Suède	1,74	1,62	1,52	1,56	1,75	1,55	1,36	1,27	-27%
Finlande	1,14	1,31	1,28	1,09	1,41	1,41	1,03	1,25	10%
Autriche	1,26	0,06	0,74	0,71	0,68	0,69	0,70	1,01	-20%
Grèce	0,68	0,58	1,03	1,49	1,44	0,63	0,97	0,80	19%
Luxembourg	0,84	0,00	0,00	0,00	0,77	0,84	0,87	0,80	-5%

L'indice de diversité relatif à l'approvisionnement en charbon est le plus élevé pour la France. Cette performance tient comme pour le gaz à la conjonction d'une grande diversité de pays fournisseurs, dont la part relative pour certains est loin d'être marginale. L'origine des importations de charbon n'est pas homogène entre les pays européens. On observe un nombre important de pays exportateurs. En 2005, l'Australie est le principal fournisseur de la France, de la Belgique et de la Suède, la Pologne, celui de l'Allemagne, et l'Indonésie, celui de l'Italie. L'Afrique du Sud, les pays de l'ex-URSS, ou la Colombie apparaissent également dans le groupe des pays exportateurs de charbon vers l'Europe. Le rôle des Etats-Unis dans cet approvisionnement, important dans les années 1990, s'est par ailleurs considérablement réduit, pour devenir inexistant dans beaucoup de pays d'Europe.

Comme pour le charbon, les pays exportateurs de produits pétroliers sont nombreux. On peut se référer aux tableaux présentés en annexe B pour les parts respectives de chaque fournisseur dans l'approvisionnement des différents pays européens.

Tableau 4.5. Indice Shannon-Wiener de diversité des pays fournisseurs de produits pétroliers des pays de l'Europe des 15

	1997	1999	2001	2003	2004	2005	Variation
Royaume Uni	2,66	2,74	2,57	2,10	2,74	2,87	8%
France	2,57	2,62	2,75	2,67	2,59	2,66	3%
Espagne	2,28	2,41	2,41	2,46	2,54	2,58	13%
Italie	2,84	2,69	2,54	2,59	2,52	2,56	-10%
Danemark	1,90	2,14	2,17	1,99	2,10	2,19	15%
Portugal	2,17	2,15	2,40	2,50	2,41	2,14	-1%
Grèce	1,89	2,21	1,85	2,03	2,10	2,03	7%
Pays Bas	1,97	1,99	1,74	1,83	1,87	1,83	-7%
<i>Moy. Européenne</i>	<i>1,78</i>	<i>1,82</i>	<i>1,83</i>	<i>1,83</i>	<i>1,84</i>	<i>1,84</i>	
Suède	1,91	1,90	1,97	1,81	1,70	1,82	-5%
Allemagne	1,68	1,53	1,60	1,65	1,58	1,52	-10%
Autriche	1,53	1,63	1,48	1,62	1,42	1,46	-5%
Finlande	1,30	1,39	1,50	1,55	1,52	1,45	12%
Belgique	1,31	1,21	1,41	1,20	1,10	1,24	-5%
Luxembourg	0,48	0,49	0,57	0,69	0,77	0,81	69%
Irlande	0,21	0,23	0,50	0,73	0,59	0,38	84%

4.1.2. Diversité énergétique et production intérieure

Le fait d'intégrer dans l'indice la production intérieure des 15 pays européens modifie considérablement la position relative de chaque pays. Certains pays européens sont en effet exportateurs nets d'énergie primaire. On peut citer le Danemark et le Royaume Uni qui exportent du gaz et du pétrole, ainsi que les Pays-Bas qui exportent du gaz.

Logiquement, la prise en compte de la production intérieure dans le calcul de l'indice relativise les performances médiocres des pays indépendants énergétiquement qui ont pu être observées jusque là. En particulier, une faible diversité des pays fournisseurs importe peu en comparaison de l'autosuffisance énergétique.

Pour chaque énergie primaire, on présente tout d'abord la part de la production intérieure dans l'approvisionnement en pétrole, puis gaz, puis charbon de chaque pays de l'Europe des 15, avant de présenter l'indice SW de diversité intégrant cette part.

Tableau 4.6. Part de la production intérieure dans l'approvisionnement en pétrole des pays de l'Europe des 15

	1997	1999	2001	2003	2004
Danemark	119%	158%	189%	224%	236%
Royaume Uni	163%	170%	149%	135%	119%
Pays Bas	11%	9%	8%	10%	9%
Autriche	8%	9%	8%	7%	8%
Italie	7%	6%	5%	7%	7%
Allemagne	2%	2%	3%	5%	5%
France	3%	3%	2%	2%	2%
Finlande	0%	0%	0%	1%	2%
Grèce	3%	0%	1%	1%	1%
Espagne	1%	0%	1%	0%	0%
Belgique	0%	0%	0%	0%	0%
Portugal	0%	0%	0%	0%	0%
Suède	0%	0%	0%	0%	0%
Irlande	0%	0%	0%	0%	0%
Luxembourg	0%	0%	0%	0%	0%

Tableau 4.7. Indice Shannon-Wiener de diversité des pays fournisseurs de pétrole des pays de l'Europe des 15, avec prise en compte de la production intérieure des pays

	1997	1999	2001	2003	2004	Classement 2004 (sans production intérieure)
Espagne	2,44	2,50	2,49	2,38	2,43	Espagne
Royaume Uni	3,04	3,21	3,40	2,87	2,33	France
France	2,31	2,37	2,42	2,30	2,28	Portugal
Portugal	2,18	2,25	2,30	2,21	2,27	Italie
Italie	2,15	2,21	2,22	2,20	2,15	Pays Bas
Pays Bas	2,17	2,26	2,23	2,13	1,98	Allemagne
Autriche	2,27	2,24	2,13	2,00	1,87	Belgique
Belgique	1,69	1,90	1,92	1,96	1,81	Autriche
Allemagne	2,06	2,04	1,99	1,92	1,81	Suède
Suède	1,83	1,53	1,64	1,56	1,58	Royaume Uni
Grèce	1,39	1,34	1,45	1,36	1,33	Grèce
Irlande	0,00	0,20	0,51	0,74	0,72	Finlande
Finlande	1,30	1,22	1,23	0,85	0,61	Irlande
Danemark	0,34	0,32	0,41	0,00	0,00	Danemark
Luxembourg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Luxembourg

Au niveau des pays qui étaient en tête du classement dans le premier tableau qui ne prenait pas en compte la production intérieure (tableau 4.2.), à savoir l'Espagne, la France ou le Portugal, ils restent relativement bien positionnés, leurs efforts marqués de diversification les ayant placés largement en tête par rapport à leurs partenaires européens.

En revanche, le Royaume Uni, qui était à la 10^{ème} place, se place désormais en seconde position, avant la France. Toutefois, on observe pour ce pays une nette diminution de son indice, du fait d'une réduction de ses exportations de pétrole sur la période (pic de production). Le mauvais classement du Danemark est représentatif du fait que ce pays avait un indice égal à 0, dans la mesure où il n'importait du pétrole qu'auprès d'un seul pays (la Norvège) ; il n'y a pas eu de sa part de stratégie de diversification de ses fournisseurs sur la période d'analyse.

Concernant le gaz, la prise en compte de la production intérieure modifie le positionnement des pays en matière de diversité. Mais là aussi, la stratégie de diversification demeure une variable importante.

Tableau 4.8. Part de la production intérieure dans l'approvisionnement en gaz des pays de l'Europe des 15

	1997	1999	2001	2003	2004
Danemark	179%	156%	164%	155%	183%
Pays Bas	171%	157%	157%	145%	168%
Royaume Uni	101%	106%	110%	108%	99%
Autriche	17%	18%	21%	19%	23%
Irlande	69%	37%	18%	15%	19%
Allemagne	22%	23%	21%	20%	19%
Italie	33%	26%	21%	18%	16%
France	7%	5%	4%	3%	3%
Grèce	24%	0%	2%	1%	1%
Espagne	1%	1%	3%	1%	1%
Portugal	0%	0%	0%	0%	0%
Belgique	0%	0%	0%	0%	0%
Suède	0%	0%	0%	0%	0%
Finlande	0%	0%	0%	0%	0%
Luxembourg	0%	0%	0%	0%	0%

Tableau 4.9. Indice Shannon-Wiener de diversité des pays fournisseurs de gaz des pays de l'Europe des 15, avec prise en compte de la production intérieure des pays

	1997	1999	2001	2003	2004	Classement 2004 (sans production intérieure)
Pays-Bas	0,84	2,19	2,65	3,22	3,22	France
Italie	1,29	1,14	1,48	1,68	1,74	Espagne
France	1,44	1,44	1,63	1,59	1,63	Italie
Espagne	1,04	1,14	1,48	1,36	1,46	Belgique
Allemagne	1,47	1,48	1,49	1,44	1,41	Allemagne
Belgique	1,10	1,28	1,24	1,30	1,30	Pays Bas
Royaume Uni	0	0	1,42	0,94	1,19	Royaume Uni
Portugal	0	0	0,35	0,47	0,66	Portugal
Grèce	0	0	0,59	0,55	0,47	Grèce
Danemark	0	0	0	0	0	Danemark
Finlande	0	0	0	0	0	Luxembourg
Irlande	0	0	0	0	0	Finlande
Luxembourg	0,29	0,24	0,37	0,00	0,00	Irlande
Suède	0	0	0	0	0	Suède
Autriche	0,52	0,60	0,81	0,00	0,00	Autriche

Les Pays-Bas exportent du gaz et ont par ailleurs diversifié leurs fournisseurs, ce qui les place désormais en tête du classement. L'indice du Royaume Uni a doublé sur la période, bien que sa place n'ait pas progressé dans le classement, ce qui est lié non pas à ses médiocres performances mais plutôt à la stratégie de diversification des autres pays européens.

En revanche, concernant le charbon, la hiérarchie s'est sensiblement modifiée sur la période. Cela tient au fait qu'en matière d'approvisionnement, tous les pays ont des fournisseurs diversifiés, et par conséquent la part de la production intérieure intervient comme un élément déterminant dans le calcul de l'indice. Par ailleurs, certains pays comme la France ont quasiment abandonné la production de cette énergie.

Tableau 4.10. Part de la production intérieure dans l'approvisionnement en charbon des pays de l'Europe des 15

	1990	1997	1999	2001	2003	2004
Grèce	88%	91%	94%	90%	92%	94%
Allemagne	95%	81%	78%	67%	68%	68%
Royaume Uni	84%	74%	65%	49%	44%	41%
Irlande	40%	26%	50%	31%	40%	39%
Espagne	62%	53%	43%	40%	35%	31%
Suède	8%	11%	10%	10%	13%	13%
Finlande	29%	40%	37%	26%	22%	10%
France	38%	28%	21%	12%	9%	4%
Autriche	16%	7%	8%	7%	7%	2%
Belgique	11%	2%	2%	2%	1%	1%
Italie	2%	0%	0%	0%	1%	0%
Portugal	5%	0%	0%	0%	0%	0%
Pays Bas	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Danemark	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Luxembourg	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tableau 4.11. Indice Shannon-Wiener de diversité des pays fournisseurs de charbon des pays de l'Europe des 15, avec prise en compte de la production intérieure des pays

	1990	1997	1999	2001	2003	2004	Classement 2004 (sans production intérieure)
Allemagne	3,48	3,36	3,58	3,71	3,35	3,38	France
UK	3,31	3,00	3,06	2,84	2,30	2,57	Italie
Espagne	2,44	2,67	2,51	2,52	2,26	2,20	Pays-Bas
France	2,81	2,50	2,42	2,40	2,22	2,15	Allemagne
Italie	1,20	1,66	2,07	1,96	1,90	1,98	Espagne
Pays-Bas	1,69	1,98	1,99	1,99	1,88	1,96	Belgique
Grèce	1,27	1,98	2,90	2,74	1,21	1,89	Royaume Uni
Danemark	1,63	1,65	1,53	1,58	1,83	1,80	Danemark
Belgique	1,76	1,80	1,79	1,79	1,61	1,75	Irlande
Suède	1,88	1,69	1,72	1,92	1,75	1,54	Portugal
Irlande	2,09	1,72	2,22	2,55	2,24	1,53	Suède
Portugal	1,34	1,44	1,51	1,52	1,37	1,26	Finlande
Finlande	1,47	1,78	1,50	1,78	1,72	1,13	Autriche
Luxembourg	0,84	0,00	0,00	0,77	0,84	0,87	Grèce
Autriche	1,46	0,79	0,77	0,73	0,74	0,71	Luxembourg

4.2. La soutenabilité énergétique

4.2.1. L'influence de la stabilité politique sur la diversité énergétique

Un choix stratégique des pays dans leur approvisionnement énergétique peut consister à privilégier des pays stables politiquement. Comme nous l'avons précisé dans la méthodologie de définition des différents indicateurs, la prise en compte de cet élément consiste à intégrer, dans l'indice SW de diversité, l'IDH des pays fournisseurs, et constater si cette donnée modifie sensiblement l'indice, et par conséquent le classement des pays.

Le résultat des calculs montre que la prise en compte de cette donnée ne modifie vraiment qu'à la marge le classement observé dans la section 4.1. qui précède.

Les tableaux des indices de SW relatifs aux importations de pétrole, de gaz et de charbon prenant en compte la stabilité politique des pays fournisseurs sont présentés en annexe D.

Les tableaux des indices de SW relatifs aux importations de pétrole, de gaz et de charbon prenant en compte la production intérieure et la stabilité politique des pays fournisseurs sont présentés en annexe E.

Comme cela a été précisé dans la méthodologie, il est possible également de calculer l'indicateur synthétique précédemment décrit en y ajoutant la raréfaction des ressources. Le calcul, complexe, ajoute peu de modifications à l'ensemble de l'analyse. D'une part, il ne concerne qu'un petit nombre de pays peu diversifiés au niveau de leurs fournisseurs pour certaines énergies. Par ailleurs, beaucoup d'incertitude pèse sur les prévisions quant à la raréfaction des énergies fossiles ; les scénarios proposés ont beaucoup évolué. On peut enfin ajouter que la tendance est à la recherche de solutions pour se désengager des énergies fossiles au niveau des pays européens, pour des raisons environnementales et d'indépendance énergétique. Les données permettant de calculer l'indice de SW synthétique avec la raréfaction des ressources, notamment le ratio R/P, sont disponibles sur le site BP.

4.2.2. L'indice SW synthétique de diversité énergétique

Conformément à ce qui est décrit dans la méthodologie, cet indice tient compte de la diversité en matière d'énergies primaires, de fournisseurs de ces énergies et de la stabilité politique de ces derniers, ainsi que la part de la production intérieure des pays importateurs.

Tableau 4.12. Indice SW de diversité énergétique des sources d'énergie et des fournisseurs, tenant compte de la production intérieure et de la stabilité politique des pays fournisseurs

	1997	1999	2001	2003	2004
Danemark	1,30	1,51	1,60	1,81	1,96
Royaume Uni	1,42	1,45	1,35	1,33	1,28
Allemagne	1,13	1,18	1,18	1,18	1,19
France	1,12	1,10	1,10	1,11	1,12
Suède	1,07	1,04	1,06	1,09	1,08
Espagne	1,02	0,97	1,01	1,00	1,01
Belgique	1,00	1,02	0,94	1,02	0,98
Finlande	1,07	1,15	1,14	1,00	0,97
Pays-Bas	0,94	0,91	0,86	0,85	0,88
Italie	0,75	0,73	0,74	0,82	0,80
Portugal	0,63	0,61	0,69	0,76	0,80
Autriche	0,87	0,87	0,97	0,76	0,76
Grèce	0,66	0,67	0,80	0,78	0,76
Irlande	0,53	0,48	0,55	0,55	0,51
Luxembourg	0,19	0,17	0,28	0,11	0,12

La prise en compte de ces différents déterminants tend à montrer la prédominance de la richesse naturelle en ressources énergétiques primaires. En effet, le Danemark et le Royaume Uni, à la fois producteur de gaz et de pétrole, occupent le haut du classement.

Toutefois, une stratégie affirmée de diversification à la fois de ses énergies et de ses pays fournisseurs par des pays comme la France ou l'Allemagne leur permet d'être relativement bien positionnés. Ainsi, malgré la faiblesse des dotations naturelles en ressources, la marge de manœuvre énergétique des pays demeure significative. Ils peuvent d'une part chercher à privilégier les énergies renouvelables, qui répondent à plusieurs défis posés aux politiques énergétiques dans un futur relativement proche, notamment environnementaux. La filière nucléaire est désormais rediscutée par des pays ayant fait le choix de l'abandonner, pour des raisons de sécurité d'approvisionnement et d'énergie relativement bon marché. Enfin, une latitude d'action demeure dans le choix des fournisseurs et de leur nombre. La diversification énergétique passe également par les efforts des gouvernements pour se positionner sur le marché mondial de l'énergie, notamment par la participation à des projets d'investissement d'envergure (construction de réseaux et d'infrastructures).

4.2.3. Le taux d'interconnexion

En guise de rappel, ce taux mesure le rapport entre la capacité totale d'échanges d'un pays et la capacité de production installée dans un pays. Lorsqu'il est élevé, le taux d'interconnexion est significatif de la possibilité pour un pays d'une part d'augmenter l'efficacité de sa production énergétique (économies d'échelle), d'autre part d'accroître sa sécurité d'approvisionnement s'il est faiblement doté en ressources énergétiques.

La réalisation d'un marché européen concurrentiel dépend également de la qualité des interconnexions. En présence d'interconnexions insuffisantes, des situations de position dominante peuvent émerger.

Le tableau qui suit permet de présenter le taux d'interconnexion pour les pays européens.

Tableau 4.13. Taux d'interconnexion des pays de l'Europe des 15 en 2004

Royaume Uni	2%	Grèce	12%	Autriche	24%
Italie	6%	Finlande	14%	Belgique	25%
Espagne	6%	France	14%	Suède	29%
Irlande	6%	Allemagne	16%	Danemark	50%
Portugal	9%	Pays Bas	17%	Luxembourg	90%

Source : Energy Inquiry (2007)

Le taux d'interconnexion électrique est particulièrement élevé pour les pays du Nord de l'Europe, du fait des stratégies coopératives en matière de fourniture d'électricité. La position géographique peut également expliquer la faiblesse du ratio. Géographiquement, il faut s'attendre à des niveaux plus faibles pour des pays insulaires, comme le Royaume-Uni ou l'Irlande, ou situés en bordure de l'espace européen, comme l'Espagne ou le Portugal.

La faiblesse du taux peut également être lié à l'importance de la capacité installée. Rapportée à la capacité de transit, le ratio est nécessairement faible. C'est notamment le cas pour la France.

4.2.4. La consommation énergétique par habitant

Tableau 4.14. Consommation énergétique par tête des pays de l'Europe des 15 entre 1990 et 2004

	1990	1995	1997	1999	2001	2003	2004	Variation
Portugal	1692	1955	2056	2349	2405	2430	2492	47%
Grèce	2193	2270	2374	2459	2643	2736	2768	26%
Italie	2699	2837	2875	3007	3038	3176	3177	18%
Espagne	2292	2595	2679	2945	3100	3197	3285	43%
Danemark	3473	3871	4031	3798	3764	3817	3701	7%
Irlande	2966	3045	3354	3686	3837	3727	3869	30%
Royaume Uni	3688	3763	3829	3912	3925	3870	3880	5%
Autriche	3250	3360	3562	3579	3783	4013	4002	23%
Allemagne	4467	4139	4210	4123	4277	4203	4215	-6%
France	3895	4037	4128	4215	4361	4375	4402	13%
<i>Moy. européenne</i>							4636	
Pays-Bas	4485	4745	4814	4711	4836	4962	5056	13%
Belgique	4741	4978	5414	5564	5413	5379	5263	11%
Suède	5511	5715	5692	5745	5796	5707	5908	7%
Finlande	5756	5645	6373	6352	6421	7145	7214	25%
Luxembourg	9310	8141	7960	7954	8258	9325	10315	11%

Classement par ordre croissant de l'année 2004

Tous les pays ont vu leur consommation énergétique augmenter sur la période, sauf l'Allemagne. En fonction des pays, les performances s'expliquent par des causes très diverses.

Des pays comme le Portugal, la Grèce, l'Italie et l'Espagne, ainsi que l'Irlande ont connu une croissance économique élevée après avoir fait partie des pays les moins avancés en Europe. Ils ont rattrapé une grande partie de leur retard. Toutefois, la transformation des modes de consommation énergétique, à la fois dans le secteur résidentiel (confort), les transports (augmentation de la mobilité des individus) et dans l'industrie, ne peut être observée que graduellement. C'est dans ces pays que l'on observe les progressions les plus importantes sur la période 1990-2004.

La géographie et un climat plus rigoureux peuvent expliquer des niveaux de consommation par habitant plus élevés que la moyenne, notamment pour les pays du Nord de l'Europe.

Concernant le cas de la France, souvent critiquée pour son incivilité, il est presque surprenant de constater qu'elle se situe en deçà de la moyenne européenne en matière de consommation énergétique par tête. Par ailleurs, son taux de progression est relativement faible par rapport à la plupart de ses partenaires européens.

4.2.5. Les émissions de CO₂ par habitant

Tableau 4.15. Emissions de CO₂ par tête entre 1990 et 2004

(kg/hab)	1990	1995	1997	1999	2001	2003	2004	Variation
Suède	5898	6118	5995	5970	5454	5825	5672	-4%
Portugal	3910	4815	4821	5820	5716	5508	6121	57%
France	6082	5806	5943	6177	6246	6186	6148	1%
Espagne	5219	5746	6153	6803	6991	7308	7632	46%
Italie	6833	7068	7056	7378	7450	7807	7731	13%
Autriche	6955	7021	7436	7317	7836	8516	8436	21%
Grèce	7013	7365	7699	7594	8317	8568	8501	21%
Royaume Uni	9924	9240	9143	9136	9441	9306	9365	-6%
Danemark	10059	11334	12059	10608	10077	10658	9672	-4%
Allemagne	11917	10557	10206	9962	10240	10241	10187	-15%
Irlande	8637	9193	9895	10655	11388	10703	10589	23%
Belgique	10692	11145	11489	11290	10948	11163	10773	1%
Pays-Bas	10167	10823	10899	10474	10680	10760	10901	7%
Finlande	10667	10863	11621	10851	11606	13811	12964	22%
Luxembourg	27859	21285	20087	19151	21040	24010	26997	-3%

Globalement, on observe une correspondance entre les niveaux de consommation par tête et les émissions de carbone, à quelques exceptions près. Les différences peuvent être liées à une stratégie particulièrement active de la part de certains pays pour limiter les émissions, même si les préoccupations environnementales sont partagées par tous. D'autre part, ces niveaux dépendent de la prééminence des énergies polluantes (pétrole et charbon) dans l'approvisionnement.

On peut inscrire dans ce dernier cas des pays comme la Belgique ou les Pays Bas, dont l'approvisionnement est centré sur les énergies fossiles.

Les efforts du Danemark pour développer les énergies renouvelables ont contribué à améliorer l'intensité en carbone de l'économie danoise. C'est le premier pays au monde à avoir introduit le système des quotas d'émission de CO₂, afin de limiter les émissions à la fois dans le secteur industriel et le secteur énergétique. Tous les revenus fiscaux collectés sont réinvestis dans des projets participant à l'amélioration de l'efficacité énergétique.

L'Irlande a connu une forte croissance économique, et le développement des transports s'est traduit par une augmentation assez nette des émissions de CO₂.

Plus encore que pour la consommation par tête, la France est très bien positionnée. On peut certainement trouver une grande part de l'explication par le poids du nucléaire, qui est une énergie connue pour être peu polluante en matière d'émissions de carbone.

4.3. L'efficacité énergétique

Les efforts entrepris par les pays pour améliorer l'efficacité énergétique sont généralement tournés vers la maîtrise de la consommation des différents secteurs de l'économie. C'est la raison pour laquelle il est fréquent de voir associées les notions d'efficacité énergétique et maîtrise de la demande d'énergie.

Pour le secteur résidentiel ou le secteur des transports, la mesure de l'efficacité semble immédiate, directement liée à la consommation, alors que pour le secteur industriel, on cherche à comprendre l'évolution de l'intensité énergétique à partir d'effets de contenu, de structure ou d'activité. Toutefois, cette observation mérite une réflexion plus approfondie, dans la mesure où des progrès considérables ont été réalisés dans les équipements énergétiques, à la fois dans le secteur résidentiel et des transports. Par ailleurs, les préoccupations environnementales se sont généralisées, du fait des observations scientifiques sur les conséquences du changement climatique, modifiant les comportements. Ainsi, comme pour la production, il serait intéressant de repérer dans l'évolution de la consommation d'énergie des secteurs résidentiel, tertiaire et des transports qu'est ce qui est attribuable au progrès technique ou à l'évolution des comportements.

Nous nous en tenons au calcul d'indicateurs, sans nous attacher à la mesure des causes de l'évolution de ces indicateurs. Les indicateurs utilisés sont les suivants.

La consommation d'énergie finale (*final energy consumption*), ou demande d'énergie, par secteur correspond à l'énergie finalement consommée dans les secteurs des transports, de l'industrie, du commerce, de l'agriculture ainsi que le secteur public et le secteur des ménages. Les livraisons vers le secteur de la transformation énergétique et vers les industries énergétiques elles-mêmes ne sont pas prises en compte. On peut également calculer la consommation finale d'énergie par type d'énergie consommé. Les consommations énergétiques sont présentées par pays.

L'intensité énergétique (*energy intensity*) est un ratio mesurant la productivité de l'énergie, exprimé par le rapport entre la production et la quantité d'énergie utilisée pour la produire. L'intensité énergétique est présentée sous forme d'un tableau synthétique des pays de l'Europe des 15.

4.3.1. La consommation d'énergie finale

Les tableaux qui suivent permettent d'observer d'une part les parts respectives de chaque secteur dans la consommation finale d'énergie pour l'ensemble des pays de l'Europe des 15 en 1990 et 2004, d'autre part l'évolution de la consommation finale d'énergie par secteur entre 1990 et 2004 pour chaque pays et l'Europe des 15 dans son ensemble.

La catégorie *Autres* concerne essentiellement le secteur tertiaire et l'agriculture.

En grisé, on peut observer les pays en dessous de la moyenne européenne.

Tableau 4.16. Part respective de chaque secteur dans la consommation finale d'énergie dans les pays de l'Europe des 15 en 1990 et 2004

	<i>France</i>		<i>Allemagne</i>		<i>Italie</i>		<i>Belgique</i>		<i>Pays Bas</i>	
Demande d'énergie par secteur	1990	2004	1990	2004	1990	2004	1990	2004	1990	2004
<i>Industriel</i>	27%	23%	31%	25%	34%	31%	38%	33%	29%	28%
<i>Transport</i>	31%	32%	26%	27%	31%	33%	25%	27%	24%	29%
<i>Résidentiel</i>	26%	27%	25%	33%	25%	23%	27%	27%	23%	20%
<i>Autre</i>	16%	19%	17%	14%	10%	12%	11%	13%	23%	23%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	<i>Luxembourg</i>		<i>Danemark</i>		<i>Roy. Uni</i>		<i>Finlande</i>		<i>Espagne</i>	
Demande d'énergie par secteur	1990	2004	1990	2004	1990	2004	1990	2004	1990	2004
<i>Industriel</i>	52%	23%	20%	19%	26%	23%	44%	50%	35%	33%
<i>Transport</i>	30%	60%	30%	34%	33%	35%	20%	18%	39%	41%
<i>Résidentiel</i>	16%	14%	29%	28%	28%	29%	25%	19%	16%	15%
<i>Autre</i>	2%	3%	21%	19%	14%	14%	11%	14%	9%	12%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	<i>Irlande</i>		<i>Portugal</i>		<i>Suède</i>		<i>Grèce</i>		<i>Autriche</i>	
Demande d'énergie par secteur	1990	2004	1990	2004	1990	2004	1990	2004	1990	2004
<i>Industriel</i>	24%	18%	37%	36%	39%	39%	27%	20%	30%	30%
<i>Transport</i>	27%	40%	33%	36%	24%	24%	40%	39%	25%	30%
<i>Résidentiel</i>	32%	25%	20%	15%	22%	21%	21%	27%	31%	27%
<i>Autre</i>	16%	17%	9%	13%	15%	16%	12%	14%	14%	13%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tableau 4.17. Evolution de la consommation finale d'énergie par secteur entre 1990 et 2004 pour les pays de l'Europe des 15

	<i>France</i>	<i>Allemag.</i>	<i>Italie</i>	<i>Belgique</i>	<i>Pays Bas</i>	<i>Luxemb.</i>	<i>Danem.</i>	<i>Roy. Uni</i>	<i>Finlande</i>	<i>Espagne</i>	<i>Irlande</i>	<i>Portugal</i>	<i>Suède</i>	<i>Grèce</i>	<i>Autriche</i>
<i>Industriel</i>	-1%	-18%	14%	5%	17%	-43%	8%	-2%	38%	53%	21%	74%	12%	2%	36%
<i>Transport</i>	20%	6%	32%	32%	45%	161%	28%	18%	11%	72%	132%	95%	13%	37%	67%
<i>Résidentiel</i>	17%	34%	14%	20%	5%	21%	8%	14%	-6%	55%	22%	32%	4%	76%	19%
<i>Autre</i>	40%	-19%	42%	41%	22%	86%	1%	11%	46%	116%	64%	148%	18%	68%	34%
Total	16%	1%	22%	20%	22%	32%	12%	11%	23%	66%	59%	79%	11%	39%	38%

Tableau 4.15. Evolution de la consommation finale d'énergie de l'Europe des 15 par secteur entre 1990 et 2004

	<i>Industriel</i>	<i>Transport</i>	<i>Résidentiel</i>	<i>Autre</i>	Total
Europe des 15	5%	27%	22%	19%	18%

4.3.1.1. France

On observe une hausse régulière de la demande énergétique en France depuis 1990, liée à la croissance démographique, une croissance économique soutenue, le développement des transports, un usage domestique de l'électricité en hausse et des besoins en énergie peu compressibles pour les gros consommateurs industriels. Toutefois, par rapport à ses partenaires européens, la France est plutôt bien positionnée, à la cinquième place des pays dont la demande d'énergie a le moins augmenté sur la période.

En 2004, les secteurs de l'industrie et des transports représentent plus de la moitié (55%) de la consommation d'énergie finale (contre 58% en 1990). La part consommée par le secteur des transports demeure inchangée, la diminution concernant seulement le secteur industriel. Les transports restent historiquement le secteur le plus gros consommateur d'énergie en France. La progression la plus nette concerne les activités tertiaires et l'agriculture, dont la consommation d'énergie finale a augmenté de près de 40% depuis 1990.

4.3.1.2. L'Allemagne

L'Allemagne est le seul pays dont la demande d'énergie est quasiment stable sur toute la période, et également le seul pays à avoir réduit sa consommation d'énergie dans deux secteurs sur la période. Ces progrès ont été réalisés par le secteur industriel (-18%) et le secteur tertiaire et l'agriculture (-19%). Par ailleurs, c'est en Allemagne que la demande d'énergie dans les transports a le moins progressé (6% contre 27% pour l'ensemble de l'Europe des 15). Ainsi, le secteur industriel représentait la principale composante dans la demande d'énergie finale en 1990, mais c'est désormais le secteur résidentiel qui domine (33% de la demande en 2004) et qui a très nettement progressé depuis 1990.

La réunification allemande s'est accompagnée d'une restructuration du secteur industriel, qui est un facteur clé pour expliquer la réduction de la demande énergétique dans l'industrie.

4.3.1.3. L'Italie

La demande d'énergie a augmenté assez sensiblement sur la période. Le secteur des transports est devenu le plus gros consommateur d'énergie (33% en 2004), dépassant désormais le secteur industriel. Comme pour la France, c'est la demande d'énergie pour le tertiaire et l'agriculture qui enregistre la hausse la plus significative. Le secteur des transports est désormais le plus gros consommateur d'énergie, puis l'industrie.

4.3.1.4. La Belgique

La Belgique présente une situation un peu similaire à celle de l'Italie concernant le secteur des transports, tertiaire et agricole, pour lesquels les progressions sont les plus importantes sur la période et dépassent largement la moyenne européenne. C'est toujours le secteur industriel qui est le plus gros consommateur d'énergie. Toutefois, sa part relative a eu tendance à décroître grâce aux transformations des structures industrielles et des mesures pour améliorer l'efficacité énergétique. C'est l'industrie lourde qui reste la plus forte consommatrice. Concernant le secteur des transports, le trafic a augmenté plus rapidement que les améliorations technologiques sur les véhicules. L'importance de certaines villes en Belgique, qui sont de véritables nœuds stratégiques pour les échanges de biens et d'énergie en Europe, explique la forte croissance des transports.

4.3.1.5. Les pays Bas

L'accroissement de la demande d'énergie dans les transports s'élève à 45%, bien au dessus de la moyenne européenne (27%). Ce secteur est devenu en 2004 le plus gros consommateur d'énergie aux Pays Bas. C'est le secteur résidentiel qui enregistre la plus faible progression (5%).

4.3.1.6. Luxembourg

La situation du Luxembourg est assez contrastée avec un secteur des transports dont la demande énergétique a quasiment triplé, et un secteur industriel qui enregistre la baisse la plus significative (-43%) parmi tous les pays européens. Quant aux secteurs tertiaire et agricole, leur consommation d'énergie a doublé. C'est désormais les transports qui consomment le plus d'énergie dans ce pays.

4.3.1.7. Le Danemark

Le Danemark fait partie des quelques pays exemplaires en matière de demande énergétique. La progression dans le secteur des transports se situe dans la moyenne européenne (28%), mais pour l'ensemble des secteurs, ses performances en matière de faible croissance de la demande sont à observer. C'est le secteur des transports qui consomme le plus d'énergie. Ces résultats en matière de consommation énergétique ont été obtenus en dépit d'un contexte de croissance économique élevée, de transformation de la demande dans la plupart des secteurs et de plus grande mobilité des individus. Depuis 1990, le PIB a augmenté de 50% alors que la consommation énergétique est restée relativement stable. Une large gamme de politiques a été employée pour parvenir à ces objectifs, en particulier une fiscalité incitative et une information largement diffusée sur les consommations d'énergie. Des normes strictes ont été appliquées dans le secteur de la construction pour améliorer les performances en matière de chauffage et d'éclairage.

4.3.1.8. Le Royaume Uni

L'efficacité énergétique du côté de la demande a reçu une attention particulière ces dernières années dans le pays. Le Royaume Uni est le seul pays en Europe à se situer en dessous de la moyenne européenne dans tous les secteurs. La consommation dans le secteur industriel a très légèrement diminué. Le secteur des transports est celui qui consomme le plus d'énergie et où la progression est la plus significative (18%).

4.3.1.9. La Finlande

La Finlande a vu sa consommation d'énergie diminuer dans le secteur industriel. En revanche, ses performances en termes de consommation sont peu satisfaisantes pour le secteur résidentiel et le secteur tertiaire. Les transports sont relativement peu consommateurs d'énergie par rapport à la plupart des pays européens. Le secteur industriel demeure de loin le plus gros consommateur d'énergie de ce pays.

4.3.1.10. L'Espagne, l'Irlande et le Portugal

L'Espagne fait partie, avec l'Irlande et le Portugal, des plus mauvais élèves en matière de consommation énergétique. Tous les secteurs enregistrent des progressions très supérieures aux moyennes européennes. On observe un taux de croissance global (tous les secteurs) de 66% pour l'Espagne, de 59% pour l'Irlande et de 79% pour le Portugal (contre 18% pour l'ensemble de l'Europe des 15). Dans ces trois pays, c'est le secteur des transports qui est le plus gros consommateur d'énergie en 2004. C'est le secteur industriel qui arrive en second pour l'Espagne et le Portugal, le secteur résidentiel pour l'Irlande.

La forte croissance économique de l'Irlande ces dernières années a contribué à augmenter la demande d'énergie et le besoin de mobilité des agents économiques. On a également pu observer une forte croissance du secteur tertiaire qui est le plus gros consommateur d'électricité en 2004.

C'est également la croissance économique soutenue qui explique le fort accroissement de la demande d'énergie tous secteurs confondus.

4.3.1.11. La Suède

La Suède a su faire face à des conditions relativement défavorables, notamment de climat. Les maisons sont bien isolées, des contrôles de performance énergétique des bâtiments sont réguliers, ce qui permet de réduire les consommations. La Suède fait partie des bons élèves de l'Europe en matière de consommation énergétique. Mis à part le secteur industriel, dont la consommation a progressé à un rythme supérieur au reste de l'Europe, les secteurs des transports, résidentiel, tertiaire et agricole ont vu leur consommation croître à un rythme sensiblement moins élevé que les moyennes européennes. Le secteur industriel demeure le plus gros consommateur d'énergie, même si les principales industries énergivores (notamment l'industrie du papier et l'industrie sidérurgique) ont été l'objet de mesures incitatives visant à promouvoir les investissements efficaces énergétiquement.

4.3.1.12. La Grèce

Seul le secteur industriel a faiblement augmenté sa consommation énergétique. Les autres secteurs ont enregistré des rythmes de croissance de la demande d'énergie bien supérieurs à la moyenne des résultats de ses partenaires européens. Le secteur des transports représente 40% de la demande d'énergie. En matière de consommation d'électricité, ce sont les ménages qui sont les plus énergivores.

4.3.1.13. L'Autriche

L'Autriche fait partie du groupe des cinq pays ayant eu les plus mauvais résultats en matière de consommation énergétique. Seul la croissance enregistrée dans le secteur résidentiel se situe en dessous de la moyenne européenne. La progression la plus nette est celle des transports (+67%).

4.3.2. L'intensité énergétique

Au-delà de la consommation d'énergie par secteur, il est intéressant de confronter ces grandeurs à la croissance de la production de chaque pays. On peut être gros consommateur d'énergie, sans être nécessairement intense énergétiquement au regard de ce que l'on produit.

4.18. L'intensité énergétique de l'Europe des 15 entre 1990 et 2004 (toutes énergies confondues)

(tep/M€'00)	1990	1995	1997	1999	2001	2003	2004	Variation
Danemark	133	134	133	121	115	116	111	-17%
Irlande	199	167	154	145	134	121	122	-39%
uk	172	163	158	152	145	138	135	-22%
Autriche	153	147	149	141	143	150	147	-4%
Italie	150	149	147	149	143	150	150	0%
Allemagne	204	181	180	169	169	166	164	-20%
France	193	192	191	184	181	180	178	-8%
Suède	218	225	217	202	194	186	186	-15%
Luxembourg	264	204	191	170	167	176	188	-29%
Pays-Bas	213	210	201	184	182	189	190	-11%
Espagne	187	198	193	196	193	195	197	5%
Grèce	223	227	227	222	219	210	203	-9%
Belgique	232	229	239	235	219	214	205	-12%
Portugal	184	196	192	203	198	204	208	13%
Finlande	263	277	285	263	252	269	263	0%

C'est le Danemark qui a la plus faible intensité énergétique, du fait des mesures considérables qui ont été entreprises pour améliorer l'efficacité énergétique. Les efforts du pays pour développer les énergies renouvelables ont contribué à améliorer l'efficacité énergétique.

Concernant l'Allemagne, ce sont les taxes sur l'énergie dans le secteur des transports et dans la construction qui sont en partie responsables des performances en matière d'efficacité énergétique. Associées aux restructurations industrielles liées à la réunification, ces évolutions ont permis à l'Allemagne d'avoir une intensité énergétique globale qui est inférieure à la moyenne européenne en 2004.

Un pays comme la Grèce est parvenu à réduire son intensité énergétique grâce au progrès technique et la pénétration dans l'appareil productif d'équipements plus efficaces énergétiquement.

L'intensité énergétique en France a légèrement diminué, malgré une croissance économique relativement soutenue, le développement du secteur des transports, l'augmentation de la consommation d'électricité, notamment dans le secteur résidentiel, et les besoins croissants des gros industriels. Ces dernières années, des efforts considérables ont été menés pour réduire l'intensité énergétique. On peut notamment citer les crédits d'impôt relatifs aux économies d'énergie et au développement des énergies renouvelables, système mis en place début 2005, renforcé en 2006 avec l'augmentation du taux de crédit d'impôt de 40 à 50% pour des équipements utilisant des énergies renouvelables.

Le Portugal s'est engagé dans un programme visant à améliorer son efficacité énergétique, relatif aux performances thermiques des bâtiments et systèmes d'air conditionné. L'ambition est de mettre en place une certification dans la construction. Un plan visant à réduire la consommation d'électricité a été engagé pour la période 2006-2009.

Les mauvais résultats de la Finlande tiennent à plusieurs facteurs, principalement une production industrielle intense en énergie, de longues distances associées à une faible densité de population ainsi qu'un climat rigoureux. L'industrie et les ménages consomment 69% de l'énergie et 80% de l'électricité produite en 2004. Un programme a été engagé en 1998, incluant des audits énergétiques, et des objectifs d'économies d'énergie, programme qui a été prolongé pour deux années supplémentaires en 2005.

Le Royaume Uni a considérablement réduit son intensité énergétique sur la période, du fait de la transition opérée dans le secteur de l'énergie.

Concernant l'Irlande, la part relativement faible de l'industrie dans la consommation finale d'énergie est due à l'absence d'industries lourdes, intenses énergétiquement (comme l'industrie sidérurgique).

Conclusion

La vulnérabilité énergétique est une notion souvent évoquée, mais rarement la littérature s'emploie à en proposer une définition exhaustive. L'objet du présent rapport était de mettre en évidence un certain nombre d'indicateurs pouvant participer à la définition du concept de vulnérabilité, et de calculer ces indicateurs pour les pays de l'Europe des 15.

Trois composantes sont décrites. En premier lieu, la diversité énergétique fait référence au caractère plus ou moins diversifié de l'approvisionnement énergétique, sur la base d'une part du nombre et des proportions relatives d'énergies primaires utilisées, d'autre part du nombre et des proportions relatives des pays fournisseurs. Il est nécessaire d'intégrer la part de la production intérieure d'énergie primaire qui peut modifier sensiblement la valeur de l'indicateur de diversité (l'indicateur de base considéré est l'indicateur de diversité de Shannon-Wiener). On constate que le fait pour les pays de produire des énergies fossiles (pétrole, gaz naturel), énergies encore incontournables dans les pays industrialisés à l'heure actuelle, ce qui est le cas pour le Danemark, le Royaume Uni et les Pays-Bas, est déterminant pour apprécier la sécurité d'approvisionnement. Toutefois, les pays non dotés en énergies fossiles disposent d'une marge de manœuvre importante, d'une part en diversifiant leurs ressources, notamment par le développement de la filière nucléaire ou renouvelable, voire combustibles fossiles, d'autre part leurs pays fournisseurs.

La soutenabilité énergétique est la deuxième composante servant à définir la vulnérabilité. Cette notion comprend plusieurs dimensions. On peut intégrer dans les indices de diversité la dimension « stabilité politique des pays fournisseurs ». On a pu constater que cela ne modifiait pas fondamentalement la valeur de ces indicateurs. Par ailleurs, la dimension « raréfaction des ressources » peut être intégrée mais sa fiabilité est plus contestable. La présence d'interconnexions électriques est également déterminante pour permettre aux pays faiblement dotés d'améliorer leur sécurité d'approvisionnement. Par ailleurs, le gaz étant devenu une ressource centrale dans l'approvisionnement énergétique en Europe, les projets de développement d'infrastructures permettant d'acheminer le GNL participent également à la sécurité d'approvisionnement. Ce point mériterait d'être développé. La soutenabilité est également associée à la dimension « développement durable », que l'on peut mesurer par les efforts pour réduire à la fois la consommation énergétique par tête et les émissions de CO₂.

Enfin, l'efficacité énergétique est la troisième composante de la vulnérabilité. Elle se mesure d'une part par le niveau de la consommation finale par secteur des pays, d'autre part par l'intensité énergétique. L'évolution de cette dernière est dépendante de plusieurs facteurs, que ce soit le progrès technologique, l'évolution des comportements ainsi que les variations de la croissance économique.

Il est intéressant de constater par l'analyse de ces différents indicateurs la place encore considérable des choix de politique énergétique des pays de l'Europe des 15, qui peuvent compenser de manière importante la faible dotation en ressources. Malgré les contraintes qui pèsent sur les pays, institutionnelles d'une part pour les pays fortement centralisés sur le plan énergétique, d'autre part relatives à la faiblesse en ressources naturelles, les gouvernements disposent d'une marge de manœuvre importante pour faire face aux défis énergétiques actuels. Une stratégie affirmée de diversification à la fois des énergies et des pays fournisseurs est un moyen pour les pays de répondre au handicap d'une faiblesse en ressources. L'exemple de la Finlande, de la France ou de l'Allemagne est représentatif sur ce point. Les perspectives sont importantes concernant le développement de la filière nucléaire ou renouvelable, d'autant que ces filières répondent aux enjeux actuels des politiques énergétiques, notamment environnementaux. Les gouvernements ont un rôle à jouer non négligeable pour soutenir ces

filières, que ce soit dans l'accompagnement des comportements de consommation ou dans la participation au niveau des investissements technologiques et d'infrastructures de réseaux.

Références

Awerbuch, S., Berger, M. (2003), “Applying portfolio theory to EU electricity planning and policy-making”, IEA/EET Working Paper, EET/2003/03, February

Awerbuch, S., Jansen, J.C., Beurskens, L.W. (2004), “Building Capacity for Portfolio-Based Energy Planning in Developing Countries”, REEEP, Division of Technology, Industry and Economics, United Nations Environment Programme, ECN project number 77565

Awerbuch, S., Sauter, R. (2005), “Exploiting the Oil-GDP effect to support renewables development”, SPRU Electronic WP No.129

Baumgärtner, S. (2006), “Measuring the diversity of what? and for what purpose? A conceptual comparison of ecological and economic biodiversity indices”, WP Department of Economics, University of Heidelberg, Germany

Bernard, J.-T., Idoudi, N. (2003), « Demande d'énergie et changement de l'intensité énergétique du secteur manufacturier québécois de 1990 à 1998 », Revue d'analyse économique, vol. 79, no 4, décembre 2003

Bolinger, M., Wiser, R., Golove, W. (2003), “Accounting for Fuel Price Risk: Using Forward Natural Gas Prices Instead of Gas Price Forecasts to Compare Renewable to Natural Gas-Fired Generation”, LBNL, Berkeley, California, August

Bolle, F. (2004), “Security of supply in liberalised European gas markets”

Capgemini (2007), « Ouverture du marché de l'électricité et du gaz aux particuliers : quels enseignements tirer de nos voisins européens ? Quels impacts en France ? », juillet

Commission européenne (2007), « Une politique de l'énergie pour l'Europe », Communication de la Commission au Conseil Européen et au Parlement Européen, 10 janvier 2007, Luxembourg

Commission européenne (2002), « Vers une stratégie européenne de sécurité d'approvisionnement énergétique », Livre Vert, COM(2000)769, Bruxelles

Constantin, M. (2005), “China's conception of energy security: Sources and international impacts”, CIR Working Paper Series No.43, March, Centre of International Relations, Vancouver, Canada

De Jong, J., Maters, H., Scheepers, M., Seebregts, A. (2006), “EU Standards for Energy Security of Supply”, ECN-C-06-039/CIEP, Petten, The Netherlands

De Nooij, M., Koopmans, C., Bijvoet, C. (2007), “The value of supply security. The costs of power interruptions: Economic input for damage reduction and investment in networks”, Energy Economics 29 (2007) 277-295

Dunsky, P.U. (2004), « La révolution électrique en cours: portrait de l'émergence d'une nouvelle architecture dans les pays industrialisés », VertigO, Vol 5, No 1, mai

Emerson, S.A. (2006), “When should we use strategic oil shocks?”, Energy Policy 34

ENA (2002), « L'ouverture des marchés du gaz et de l'électricité en Europe, le mise en place des instances de régulation », Rapport de l'ENA dans le cadre du Séminaire Energie et Société, Promotion Copernic 2000-2002

ESI report 2005, Environmental Sustainability Index, University of Yale and Columbia

European Commission (2007), “DG Competition Report on Energy Sector Inquiry”, 10 January 2007, Brussels

European Communities (2006), “Gas and electricity market statistics. Data 1990-2006”, ISBN 92-79-02837-5, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

European Communities (2006), “European Union Energy and Transport in Figures 2006”, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

European Communities (2006), “European Energy and Transport. Trends to 2030 – update 2005”, ISBN 92-79-02305-5, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

European Communities (2006), “European Energy and Transport. Scenarios on high oil and gas prices”, ISBN 92-79-02798-0, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

European Communities (2006), “European Energy and Transport. Scenarios on energy efficiency and renewables”, ISBN 92-79-02652-6, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

European Communities (2006), “Energy. Monthly statistics”, ISSN 0258-3569, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

European Communities (2005), “The Annual Energy and Transport Review for 2004”, ISBN 92-79-00652-5, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

European Communities (2004), “European Energy and Transport. Report 2000-2004”, ISBN 92-894-7457-2, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

European Communities (2004), “Energy, transport and environment indicators”, ISBN 92-894-7529-3, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

European Communities (2002), “Energy and environment indicators”, ISBN 92-894-3969-6, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

Eurostat (2007), “Panorama of Energy. Energy statistics to support EU policies and solutions”, ISBN 92-79-03894-X, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

Eurostat (2005), “Indicateurs de concurrence sur le marché du gaz de l’Union européenne », Statistiques en bref, Environnement et Energie, ISSN 1562-3084, Communautés européennes, Luxembourg

Eurostat (2003), “50 years of figures on Europe”, ISBN 92-894-5261-7, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

GAO (2005), “Tax Expenditures represent a Substantial Federal Commitment and Need to be Reexamined”, United States Government Accountability Office, September

Greening, L.A., Greene, D.L., Di"glio, C. (2000), “Energy efficiency and consumption: the rebound effect: a survey”, Energy Policy 28

Grubb, M., Butler, L., Twomey, P. (2006), “Diversity and security in UK electricity generation: The influence of low-carbon objectives”, *Energy Policy*, vol. 34 issue 18, December

IEA (2004), “Analysis of the Impact of High Oil Prices on the Global Economy”, May, http://www.iea.org/textbase/papers/2004/high_oil_prices.pdf

IEA (2004), “Oil Crises and Climate Challenges: 30 Years of Energy Use in IEA Countries”

IEA (2000, 2006), “Coal Information”, IEA Statistics, OECD

IEA (2000, 2003, 2006), “Natural Gas Information”, IEA Statistics, OECD

IEA (2000, 2003, 2006), “Oil Information”, IEA Statistics, OECD

IEAE (2005), “Energy Indicators for Sustainable Development : Guidelines and Methodologies”

IEAE (2002), “Comparative studies of energy supply options in Poland for 1997-2020”, August, Vienna, Austria

Jansen, J.C., van Arkel, W.G., Boots, M.G. (2004), “Designing indicators of long term energy supply security”, ECN-C--04-007, Petten, The Netherlands

Kraan, D.-J. (2004), “Off-budget and Tax Expenditures”, in « *Revue de l’OCDE sur la gestion budgétaire (OECD Journal on Budgeting)* », Volume 4, N°1, OCDE

Lako, P., Jansen, J.C. (2001), “What scenario studies tell about security of energy supply in Europe”, ECN-C--01-054, Petten, The Netherlands

Ligon, E., Schechter, L. (2003), “Measuring vulnerability”, *The Economic Journal*, 113 (March)

Lise, W., Timpe, C., Boots, M.G., de Joode, J., ten Donkelaar, M., Vrolijk, C. (2006), “Framework conditions for tracking electricity in Europe”, E-TRACK WP2 report, ECN-C--06-014, Petten, The Netherlands

Ministère des finances du Canada (2005), “Tax Expenditures and Evaluations”

OCDE (2004), « *Revue de l’OCDE sur la gestion budgétaire (OECD Journal on Budgeting)* », Volume 4, N°1, OCDE

OXERA (2003), “Energy market competition in the EU and G7: The relative extent of energy market competition in the EU and G7”, Report by OXERA (OXford Economic Research Associates) on behalf of the UK Department of Trade and Industry, September

OXERA (2001), “Electricity liberalisation indicators in Europe”, Report by OXERA (OXford Economic Research Associates) on behalf of the European Commission DG TREN, October

Patterson, M.G. (1996), “What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues”, *Energy Policy*, Vol.24 No.5

Percebois, J. (2006), « *Dépendance et vulnérabilité : deux façons connexes mais différentes d’aborder les risques énergétiques* », Cahier de recherche du Creden N°06.03.64

Rogoff, K. (2006,), *Oil and the Global Economy*, Harvard University Mimeo

Roques, F.A., Newbery, D.M., Nuttall, W.J. (2005), “Marchés Electriques, Sécurité Energétique et Diversification Technologique: le Nucléaire comme Couverture face aux

Risques de Prix du Gaz et du Carbone”, Electricity Policy Research Group, University of Cambridge, England

Sterman, J.D. (1982), “Economic vulnerability and the energy transition” WP1325-82, MIT, Cambridge, presented at the 1981 Systems Dynamics Research Conference, Institute of Man and Science, New York

Stirling, A. (1997), “Limits to the value of external costs”, Energy Policy, Volume 25, Issue 5

Stirling, A. (1999), “On the Economics and Analysis of Diversity”, SPRU Electronic Working Papers Series, Paper No.28

Van Oostvoorn, F. (editor) (2003), “Long-term gas supply security in an enlarged Europe: Final Report ENGAGED Project, ECN-C-03-122, Petten, The Netherlands

Villa, P. (2000), « Evolution sur longue période de l’intensité énergétique », Economie internationale, la Revue du CEPII, n°82

Von Hirschhausen, C., Neumann, A. (2003), “Security of (gas) supply: Conceptual issues, contractual arrangements, and the current EU situation”, Presentation at the EU-Conference INDES, Amsterdam, May

Williams, J.L., Alhajji, A.F. (2003), “The coming energy crisis?”, Oil and Gas Journal, February