

La transition énergétique en Suède : un aperçu du modèle scandinave

1 - Introduction

Bien que relativement peu discuté dans le débat politique français, le modèle énergétique suédois n'en reste pas moins étonnant et vertueux à de nombreux égards. Alors que le pays affiche déjà une performance environnementale supérieure à la moyenne européenne pour de nombreux indicateurs – émissions de CO₂, part des énergies renouvelables, fiscalité écologique, efficacité des bâtiments ou encore gestion des déchets-, il ne compte pas se reposer sur ses lauriers. La stratégie de transition énergétique suédoise affiche ainsi des objectifs de long terme parmi les plus ambitieux du monde : éliminer les énergies fossiles dans les transports routiers d'ici 2030 et parvenir à une économie neutre en carbone d'ici 2050.

À l'heure où la France est en train de redéfinir son propre modèle de transition énergétique, il apparaît donc opportun d'engager la comparaison avec le modèle suédois, considérant à la fois son évolution historique et sa stratégie d'avenir.

Dans une perspective exploratoire, cet article vise à donner un aperçu des principaux traits du modèle énergétique suédois et des défis à venir, pour en tirer les enseignements utiles pour la réflexion française et inviter le lecteur à s'intéresser de plus près au modèle « nordique » de transition énergétique. L'article se structure autour de deux parties : la première vise à présenter un état des lieux chiffré sur l'évolution historique du modèle énergétique suédois. La seconde s'intéresse davantage à la stratégie politique ainsi qu'aux défis pour la transition énergétique suédoise dans les prochaines décennies.

Contexte général de la Suède

Avec une surface de 450 000 km², la Suède est le troisième pays le plus grand de l'Union Européenne. Malgré cette surface presque équivalente à celle de la France métropolitaine (550 000 km²), le pays compte une population bien plus réduite, avec seulement 9,6 millions d'habitants, essentiellement concentrée autour des aires urbaines dans le sud du pays. Sa faible densité démographique est contrebalancée par sa richesse en ressources naturelles qui sont autant d'atouts énergétiques : 65 % de la surface du pays est couverte de forêts et la biomasse représente une source d'énergie majeure pour le pays. De plus, la Suède compte près de 100 000 lacs et de nombreux cours d'eau, approvisionnant plus de 2000 centrales hydroélectriques, dont 46 dépassent 100 MW de puissance (977 MW pour la plus grande installation, Harsprånget)¹. Avec une capacité totale installée de 16,000 MW, l'hydroélectricité représente ainsi la première source d'électricité du pays avec près de 50 % de la production nationale.

Le modèle économique suédois est souvent cité comme exemple, avec un niveau de vie parmi les plus élevés dans le monde², un budget équilibré et une dette publique relativement faible (41 % du PIB en 2013, contre 87 % pour la moyenne de l'UE), malgré l'importance du secteur public dans l'économie : le budget public représente 52 % du PIB.

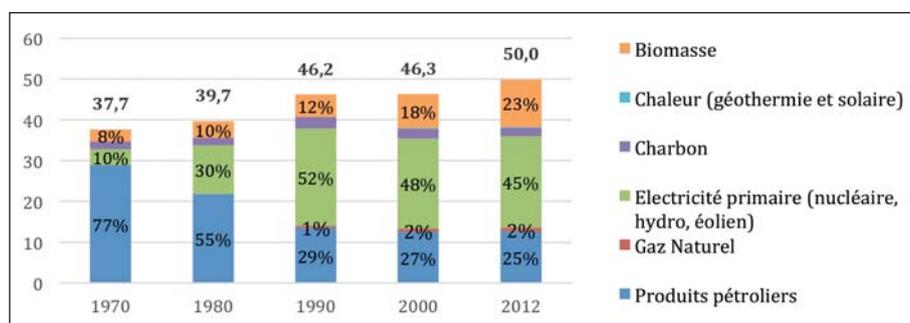
Le secteur tertiaire prédomine dans la structure économique de la Suède (73 % du PIB), mais l'industrie continue à jouer un rôle important (26 % du PIB en Suède, 20 % en France), notamment à l'export : la Suède affichait un excédent commercial de 6 milliards d'euros en 2012, contre un déficit de 76 milliards d'euros pour la France. Les principaux secteurs industriels sont l'industrie forestière et papetière, l'industrie minière (fer) et le secteur de l'automobile et de l'aéronautique.

1 - Stockholm Environment Institute 2013 : *Sweden's Evolving Hydropower Sector : Renovation, Restoration and Concession Change*.

2 - *Le PIB par habitant en Suède atteint 43k€ en 2013, contre 31k€ en France et 26 k€ pour la moyenne de l'UE (données Enerdata 2014)*.

2 - Le système énergétique suédois : les principaux indicateurs³

2.1 - La consommation d'énergie primaire



Graphique 1. Consommation d'énergie primaire en Suède en Mtep et parts relatives

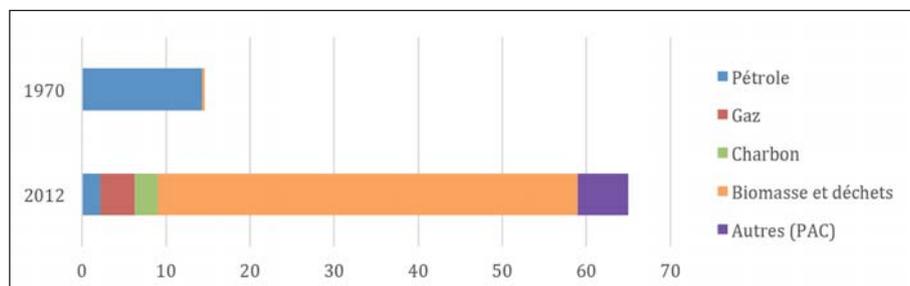
Source : Enerdata

En considérant la structure de la consommation énergétique primaire de la Suède et son évolution dans le temps, plusieurs constats s'imposent. Le premier concerne la réaction au choc pétrolier de 1973, qui a enclenché la première transition énergétique en Suède. Alors que le pétrole représentait plus des $\frac{3}{4}$ de la consommation primaire en 1970, sa part a considérablement été réduite au fil des deux décennies suivantes, à la fois en part relative et en absolu : **entre 1970 et 2012, la consommation totale de produits pétroliers a été divisée par deux**. La part du pétrole dans l'énergie primaire est ainsi passée de 77 % en 1970 à 25 % en 2013. La réduction de la part relative du pétrole s'explique également par la hausse de la consommation primaire (+33 %), essentiellement due à l'augmentation des pertes de transformation dans le secteur électrique avec le développement du nucléaire (10,6 Mtep de pertes thermiques), tandis que la consommation finale est restée stable sur cette période.

Cette réduction drastique de la consommation d'énergies fossiles a été fondée sur deux piliers principaux. Le premier concerne l'électrification, autour de l'accroissement des capacités hydroélectriques et du développement du nucléaire (voir section suivante) : **la production totale d'électricité est ainsi passée de 64 TWh en 1970 à 143 TWh en 2013**.

Le deuxième facteur concerne le fort développement des réseaux de chaleur. Si celui-ci avait déjà été initié dans les années 1950 dans de nombreuses collectivités, son essor remonte aux décennies qui suivent le choc pétrolier : **entre 1970 et 2013, l'énergie des réseaux de chaleur a été multipliée par plus de 4, passant de 15 TWh à 65 TWh**. Ce fort développement s'est principalement appuyé sur l'usage de la biomasse, qui a progressivement remplacé le pétrole (qui alimentait 98 % des réseaux en 1970). Au total, les réseaux de chaleur sont décarbonés à 82 % (graphique 2)⁴.

Enfin, la quasi-absence du gaz naturel en tant que source d'énergie est également un fait exceptionnel en Suède, l'usage étant essentiellement réservé à l'industrie, tandis que le gaz reste très peu utilisé dans le secteur résidentiel et dans la production d'électricité. Cette faible consommation de gaz est certainement un atout au regard de la moindre dépendance vis-à-vis des énergies fossiles importées, mais pourrait à terme créer un défi supplémentaire : en effet, les infrastructures gazières ne sont que peu développées en Suède, ce qui risque à terme de nuire au développement du biogaz issu de la méthanisation, voire de la méthanation en cas de surproduction électrique.



Graphique 2. Sources d'énergie des réseaux de chaleur en Suède (TWh)

Source : Agence de l'Énergie suédoise 2014

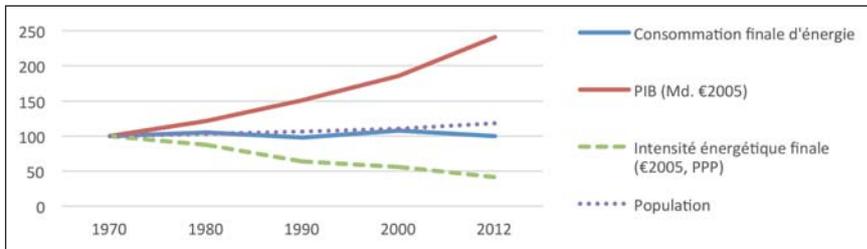
3 - Les données utilisées de cette section proviennent de la base de données Enerdata et de la publication « Facts and Figures 2014 » de l'Agence de l'Énergie suédoise disponible sur leur site : <http://www.energimyndigheten.se/>.

4 - Ce calcul intègre la part renouvelable de l'incinération des déchets (50 %) et l'énergie provenant des pompes à chaleur de taille importante (7,6 % de l'énergie utilisée).

2.2 - La consommation d'énergie finale

Le niveau de consommation d'énergie finale de la Suède n'a pas connu d'évolution majeure au cours de la période considérée, le niveau étant exactement identique en 1970 et 2012 (33,4 Mtep). Cela illustre l'amélioration conséquente de l'intensité énergétique finale (-60 %) sur la période, tenant compte de la croissance du PIB (multiplié par 2,4 sur la période) et de la croissance démographique (+19 %). À titre de comparaison, sur la même période, la France a connu une multiplication par 2,5 de son PIB, une hausse de la population de 27 % et une hausse de la consommation finale de 25 %, alors que l'intensité énergétique finale a été réduite de 50 %.

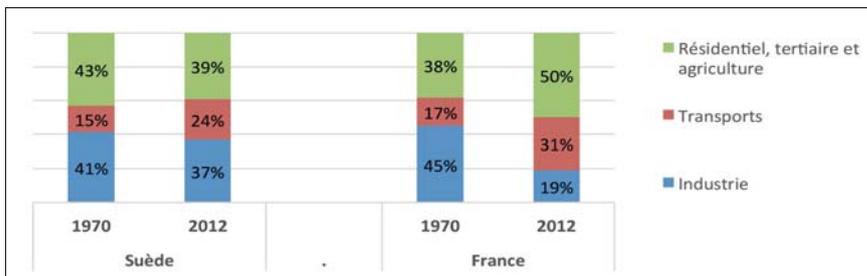
Dans le cas de la Suède, on peut donc bien parler d'un découplage absolu entre la croissance économique et la consommation énergétique entre 1970 et 2012.



Graphique 3. Évolution économique, démographique et énergétique de la Suède (indices)

Source : Enerdata

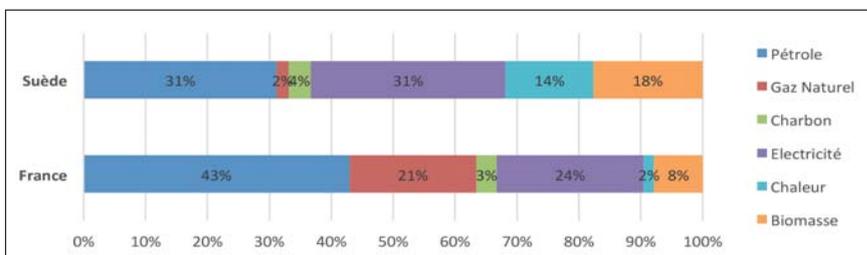
Néanmoins, l'intensité énergétique finale de la Suède (94 tep/M\$) reste de 27 % supérieure à celle de la France, en raison de l'importance de l'industrie intensive en énergie (acier et papier essentiellement). En effet, la consommation énergétique de l'industrie n'a pratiquement pas baissé depuis 1970 et représente 37 % de la consommation finale en 2012 (hors usages non énergétiques), contre 19 % en France. Autre différence majeure : l'augmentation de la consommation dans le secteur des transports a été beaucoup moins prononcée qu'en France (+130 % entre 1970 et 2012, contre 55 % en Suède), atteignant une part de 24 % de la consommation finale en 2012, contre 31 % en France.



Graphique 4. Répartition de la consommation finale d'énergie par secteur

Source : Enerdata

En regardant de plus près la consommation d'énergie finale par produit, quelques différences notables apparaissent entre la Suède et la France. **En premier lieu, la part globale des énergies fossiles dans la consommation finale est nettement moins importante en Suède : 49 % en incluant l'électricité et la chaleur produite à partir d'énergies fossiles, contre 70 % en France.**



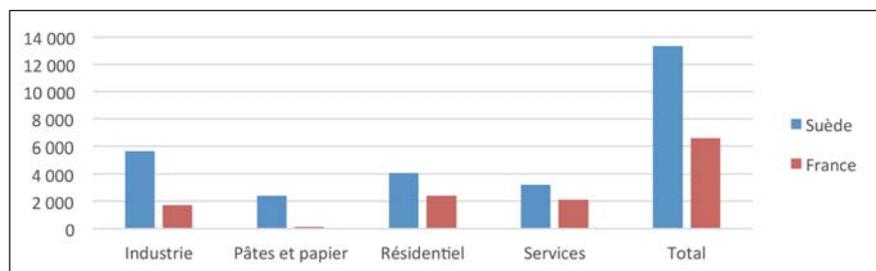
Graphique 5. Consommation d'énergie finale par produit en Suède et en France (2013)

Source : Enerdata

En second lieu, l'électricité joue un rôle exceptionnellement important en Suède et représente 31 % de la consommation finale (24 % en France), à poids égal avec le pétrole, qui reste de loin le premier produit final en France (43 %).

Au-delà du bilan global, cette différence apparaît également en considérant la consommation d'électricité par habitant comme indicateur plus détaillé : la différence est considérable pour l'industrie (et le secteur du papier en particulier), mais également très marquée dans le secteur résidentiel comme le montre le graphique ci-dessous : un suédois consomme le double d'un

français sur le seul périmètre du secteur résidentiel mais également en rapportant la consommation totale à la population : 13 360 kWh en Suède, contre 6 600 kWh en France.



Graphique 6. Consommation d'électricité par habitant en France et en Suède en kWh (2012)

Source : Enerdata

Ces différences restent surprenantes, notamment dans le secteur résidentiel, où l'électrification a été très prégnante en Suède, que ce soit pour le chauffage (des maisons individuelles), ou encore la cuisson qui se fait pour quasiment 100 % à l'électricité (cf. section 2.4. sur les bâtiments).

2.3 - Le secteur électrique

Suite au choc pétrolier, la Suède a fortement électrifié son système énergétique en s'appuyant sur deux sources décarbonées : l'hydroélectricité et le nucléaire. Entre 1970 et 1990, la capacité hydroélectrique a augmenté de 50 % pour atteindre 16,7 GW. En parallèle, le programme nucléaire suédois a abouti au développement de 4 centrales nucléaires avec un total de 12 réacteurs, mis en service entre 1972 et 1985. Après la fermeture des deux réacteurs de Barsebäck en 1999 et 2005, les 10 réacteurs restants représentent une capacité de génération de 9,3 GW et une production annuelle d'environ 60 à 65 TWh (40 % de la production totale).

En parallèle, la cogénération d'électricité et de chaleur a été fortement développée avec l'essor des réseaux à chaleur, pour un total de 17,3 TWh d'électricité en 2013, dont la majeure partie (14,6 TWh) à partir de centrales à cogénération alimentées en biomasse. Mis à part la cogénération, les centrales thermiques à combustible fossile jouent un rôle très négligeable dans la production totale (0,1 TWh en 2013), la flexibilité du système électrique étant assurée par les centrales hydroélectriques.

En dehors des sources d'électricité renouvelables « historiques » (hydro et biomasse), l'éolien a commencé à se développer dans les années 2000, sous l'effet du système de certificats verts mis en place en 2003 (voir encadré). Au total, la capacité éolienne installée a atteint 4 470 MW fin 2013, à comparer aux 8 160 MW installés en France en 2013.

Le système suédois des certificats verts

Afin de développer les sources d'électricité renouvelable nouvelles en phase avec la directive européenne sur les ENR de 2001, la Suède a mis en place un système de certificats verts (electricity certificates) dès 2003. Au sein de ce dispositif, les acteurs obligés (fournisseurs d'électricité) doivent remplir un quota d'électricité verte (pour 2014 : 14,5 %) dans leur mix et détenir le nombre de certificats (un certificat équivaut à 1 MWh d'électricité renouvelable) correspondants. Les certificats peuvent être obtenus soit en produisant directement l'électricité verte, soit en les achetant à d'autres producteurs détenant des installations éligibles*.

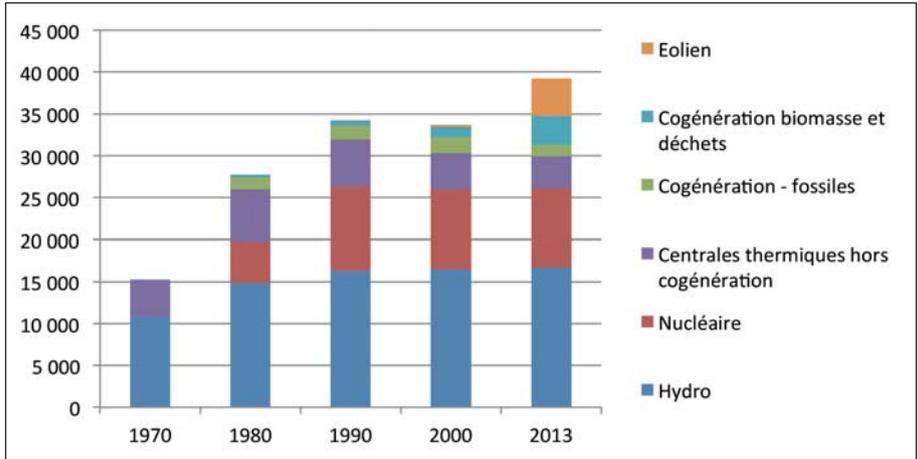
Souvent considéré comme vertueux sur le plan de l'efficacité-coût et de la neutralité technologique, ce mécanisme de marché n'est cependant pas exempt de critiques, notamment sur le plan de l'efficacité dynamique. En effet, en se focalisant sur les solutions les moins chères, le système ne soutient pas l'innovation et la réduction des coûts et se cantonne généralement à un ensemble restreint de technologies. En Suède, le système des certificats a ainsi essentiellement profité à deux sources : l'éolien (63 % des certificats en 2013) et l'élargissement de centrales à biomasse (32 %). De plus, de nombreuses installations existant avant la mise en place du dispositif ont pu en bénéficier (notamment dans la cogénération industrielle), générant d'importants effets d'aubaine. Etant donné que le prix

des certificats est fixé par l'installation marginale (qui permet de satisfaire la demande) sans différenciation technologique, de nombreuses installations obtiennent de plus des rentes « infra-marginales » souvent importantes**.

Actuellement, la dynamique d'investissements est freinée par l'incertitude que génère l'important surplus de certificats sur le marché (13 millions). Les acteurs doivent ainsi faire face à la baisse des prix de certificats (actuellement 20 €/MWh), à laquelle s'ajoute le risque d'exposition à la volatilité des prix de marché de l'électricité. De nombreux observateurs estiment ainsi que la filière éolienne va subir un fort ralentissement, tandis que de nouvelles technologies (éolien offshore par exemple) peineront à se développer en l'absence d'autres outils de soutien.

* - Eolien, solaire, géothermie, biomasse, et hydro. Pour l'hydro, uniquement les installations d'une capacité maximale inférieure à 1 500 kW, ou la capacité additionnelle (en cas de rénovation d'une centrale plus grande) sont éligibles.

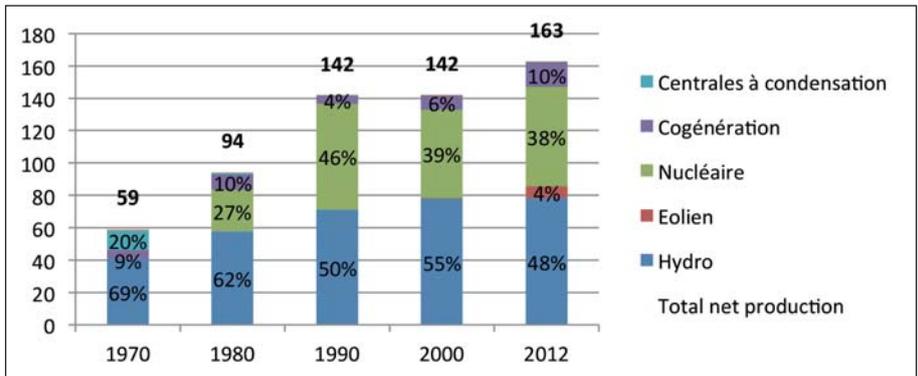
** - Une étude de 2010 estime que jusqu'à 60 % des paiements effectués sous le dispositif entre 2003 et 2008 ont constitué des rentes indues à des installations existantes. Bergek/Johansson (2010) : Are tradable green certificates a cost-efficient policy driving technical change or a rent-generating machine? Lessons from Sweden 2003-2008. Energy Policy N° 38, 2010.



Graphique 7. Capacité de production d'électricité installée en Suède par source (MW)

Source : Enerdata

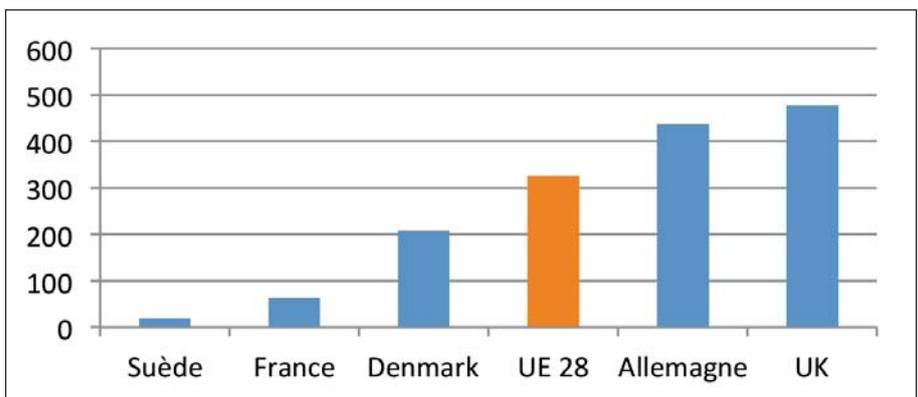
La production totale a plus que doublé dans la période 1970 à 1990, passant de 60TWh à 140 TWh. La production annuelle reste très variable en fonction du niveau de précipitations et peut varier de 10 % (+/- 15 TWh) d'une année à l'autre, comme ça a été le cas en 2012, avec un impact direct sur les échanges avec les pays voisins⁵.



Graphique 8. Production d'électricité en Suède par source (TWh)

Source : Agence de l'Énergie Suédoise 2014

Pris dans son ensemble, le système électrique suédois affiche une intensité carbone parmi les plus faibles d'Europe et du monde, fondée sur l'importante production hydro (48 %), suivie par le nucléaire (38 %) et l'utilisation efficace des centrales à biomasse en cogénération.



Graphique 9. L'intensité carbone du mix électrique en 2012 (g. CO₂/kWh)

Source : Enerdata

⁵ - Contrairement à la France, qui est structurellement exportatrice nette d'électricité, la Suède passe d'importateur à exportateur net en fonction des années et de la production hydroélectrique. Le solde net des échanges reste généralement assez bas (inférieur à +/- 6 TWh). À noter que l'année 2012 a marqué un niveau d'export record, avec un solde net de 20 TWh.

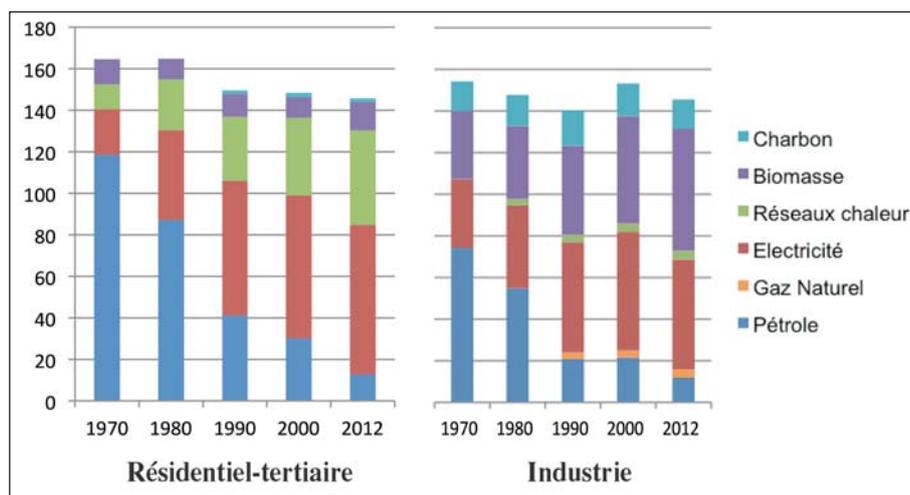
La question nucléaire en Suède

La politique nucléaire a connu de nombreux revirements en Suède depuis ses débuts dans les années 1970 et reste structurellement marquée par la méfiance de l'opinion publique. Comme en France, le programme électronucléaire a été motivé par des considérations de sécurité énergétique suite au choc pétrolier, mais dès 1976, une crise politique éclate autour de la question nucléaire. L'accident de Three Miles Island en 1979 aux Etats-Unis déclenche un important débat politique et conduit au référendum national organisé en 1980, à la suite duquel la Suède s'engageait à sortir du nucléaire jusqu'en 2010, décision qui fut renforcée par l'accident de Tchernobyl en 1986. Cependant, en l'absence d'une véritable stratégie politique, les premières fermetures ont été considérablement retardées, et seulement deux réacteurs ont été fermés en 1999 et 2005. En 2010,

la nouvelle coalition au pouvoir (alliance centre-droite) a remis en cause la décision de sortie du nucléaire et ouvert la possibilité à de nouveaux projets. Ceux-ci pourraient uniquement voir le jour en remplacement d'une centrale existante et surtout, sans bénéficier d'aucune aide publique, ce qui rendait l'émergence de tels projets de renouvellement quasi-impossible.

L'alternance de septembre 2014 et la prise de pouvoir de la coalition entre socio-démocrates et écologistes a de nouveau fait émerger l'objectif de sortie du nucléaire. Si aucune décision n'a été prise jusque-là, la coalition a néanmoins déjà engagé l'élaboration d'un scénario 100 % renouvelable et a affirmé vouloir renforcer l'objectif 2020 de développement d'énergies renouvelables.

L'électrification a été particulièrement marquante dans les secteurs du bâtiment (résidentiel et tertiaire) et dans l'industrie. Alors que le pétrole occupait une part prédominante dans les deux secteurs en 1970 (respectivement 72 % et 48 %), il a progressivement été substitué par l'électricité (respectivement 49 % dans les bâtiments et 36 % dans l'industrie) d'une part et la biomasse d'autre part, à travers le développement des réseaux de chaleur pour les bâtiments, et la valorisation énergétique des co-produits de l'industrie du papier et du bois dans l'industrie.



Graphique 10. Consommation finale dans le secteur résidentiel tertiaire et dans l'industrie (TWh)

Source : Enerdata

Le système électrique suédois est entièrement intégré dans le marché régional nordique composé du Danemark, de la Norvège, de la Suède et la Finlande. Cette plateforme régionale s'est développée suite au processus européen de libéralisation des marchés électriques initié dans les années 1990. Le marché nordique est ainsi aujourd'hui l'un des plus intégrés d'Europe : 77 % de l'électricité consommée dans la région est vendue sur le marché spot (marché intrajournalier et du jour au lendemain), contre 13 % en France. Et les services d'équilibre du réseau (balancing) sont assurés non pas au niveau des pays, mais au niveau de la région dans son ensemble pour améliorer la flexibilité du système. Les marchés de détail sont pour l'instant organisés sur une base nationale, mais un projet est en préparation pour les intégrer à l'échelle régionale.

Le marché suédois de l'électricité est entièrement libéralisé, bien que les acteurs historiques y conservent une influence considérable. Trois grands producteurs dominent ainsi le marché de la production électrique en Suède : l'entreprise publique suédoise Vattenfall (44 %), l'entreprise finlandaise Fortum (18 %) et l'allemand E. ON (17 %). Ces trois entreprises détiennent notamment des participations croisées dans les centrales nucléaires suédoises, poussant l'agence de régulation à régulièrement mettre en garde contre le risque de collusion.

Le réseau de transport est géré par l'opérateur public Svenska Kraftnät, tandis que 170 entreprises locales et régionales (généralement sous contrôle public) gèrent les réseaux de distribution.

Il y a de plus de 120 fournisseurs d'électricité, mais les trois acteurs dominants de la production représentent à eux seuls près de 50 % de la fourniture. De nombreuses villes disposent encore de régies publiques, mais celles-ci sont toujours mises en concurrence avec les acteurs privés en l'absence de tarifs réglementés ou de règles de monopole local.

Autre fait majeur: depuis 2011, la totalité des consommateurs suédois sont équipés de compteurs communicants et la facturation mensuelle sur consommation exacte est devenue la norme. L'apparition des compteurs communicants a également fait émerger de nouveaux modèles de contrats: ainsi, les contrats à tarif variable (en fonction du prix du marché mensuel) sont aujourd'hui les plus présents chez les ménages suédois, suivi par les contrats à tarif stable sur une période de 1 à 3 ans. Par ailleurs, dans aucun pays européen, les consommateurs ne changent plus souvent de fournisseur qu'en Suède: en moyenne 11 % de consommateurs par an, tandis que 24 % supplémentaires renégocient leurs contrats chaque année.

Le prix moyen de l'électricité pour les ménages suédois (toutes taxes comprises) se situe dans la moyenne européenne à 204 €/MWh, et reste 28 % plus cher que le tarif français. Hors inflation, le prix de l'électricité a augmenté d'environ 50 % en Suède depuis le début des années 2000, mais reste de manière générale très variable en fonction des conditions climatiques et son impact sur les marchés de gros.

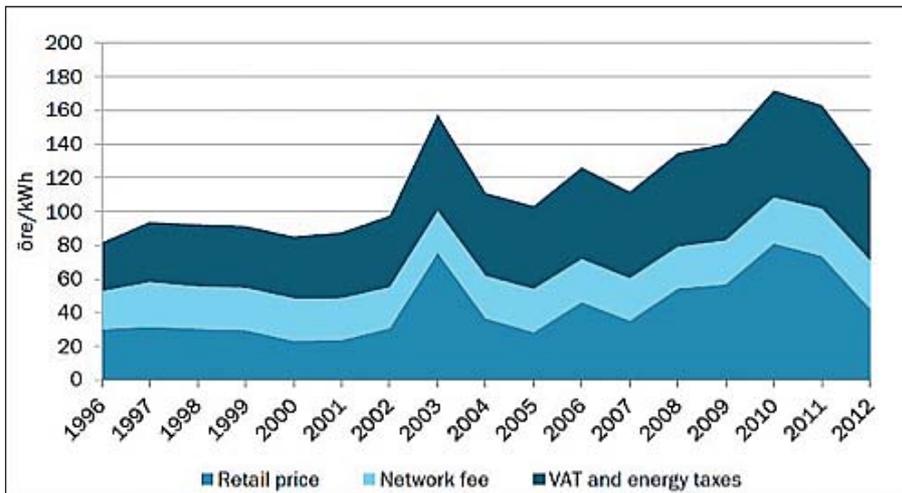
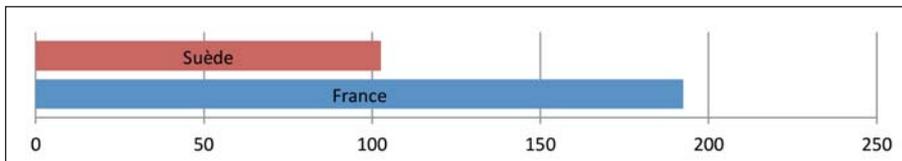


Fig 11 : Variations du coût total de l'électricité pour les consommateurs domestiques chauffés à l'électricité

2.4 - La performance énergétique des bâtiments : quelques indicateurs

En raison de son climat difficile en hiver, la performance énergétique des bâtiments suscite une forte attention en Suède. En effet, le nombre de degrés-jours de chauffage de référence est presque deux fois plus élevé en moyenne en Suède qu'en France: 3855 contre 2060. Ainsi, si en absolu la consommation d'énergie de chauffage par logement est sensiblement la même dans les deux pays (1,23 tep par an), la différence est considérable si l'on rapporte ces chiffres au climat européen normalisé: **à climat identique, un logement suédois consomme quasiment moitié moins d'énergie pour le chauffage par m² qu'un logement français (graphique 10)**. De même, une étude récente de l'association britannique pour l'efficacité énergétique affirme que les murs des maisons suédoises sont en moyenne 3 fois mieux isolés qu'en Angleterre⁶.



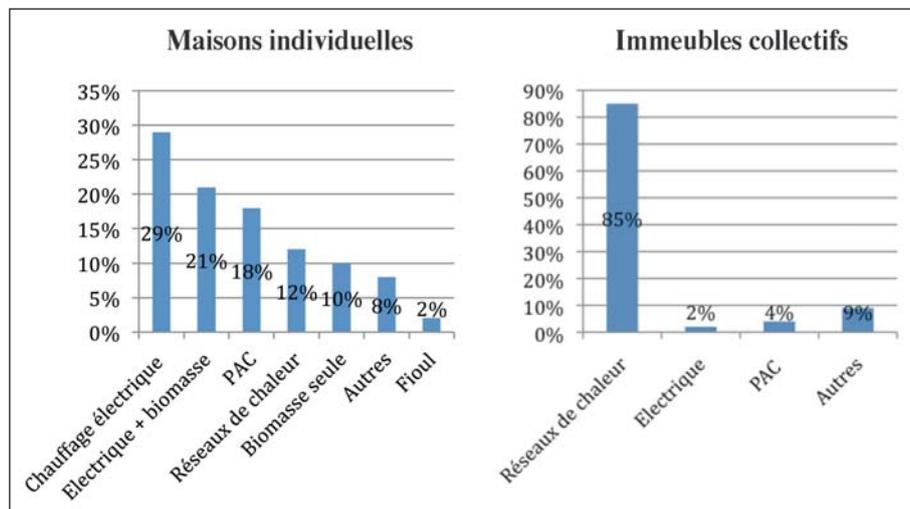
Graphique 12. Consommation d'énergie de chauffage par m² à climat européen normalisé (kwh/an)

Source : Enerdata

Contrairement à la France, les immeubles collectifs représentent la majorité du parc de logements suédois (56 % contre 43 % en France). La distinction par type de bâtiment est essentielle en Suède, puisqu'elle a des répercussions directes sur le choix des systèmes de chauffage: tandis que la grande majorité (85 %) des immeubles collectifs (généralement situés dans les aires urbaines) sont connectés aux réseaux de chaleur locaux, les maisons individuelles, le plus souvent situées hors du périmètre des réseaux de chaleur, affichent une proportion plus importante de chauffages électriques, que ce soit par effet joule ou encore par pompe à chaleur.

6 - Association for the Conservation of Energy (2013): Energy efficiency and excess winter deaths: Comparing the UK and Sweden.

Concernant le chauffage électrique, il est intéressant de noter que la Suède a suivi une politique similaire à celle de la France. Dans un premier temps, le chauffage électrique a été soutenu financièrement dans les années 1970 et 1980 en lien avec l'électrification, avant d'être mis à l'écart à partir des années 2000. En France, c'est la réglementation thermique 2012 qui réduit l'usage des chauffages électriques par effet joule à quelques cas exceptionnels dans le neuf. En Suède, une prime au remplacement de chauffages électriques dans les logements existants a été mise en œuvre dans les années 2000. Et le chauffage électrique direct n'est plus du tout présent dans les constructions neuves, remplacé en grande partie par les pompes à chaleur⁷.



Graphique 13. Répartition des logements suédois par mode de chauffage (2012)

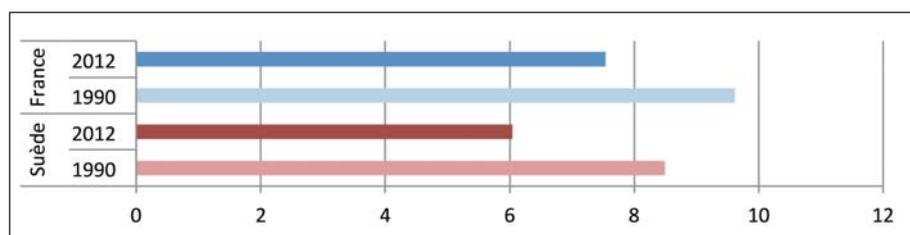
Source : Agence de l'énergie suédoise 2013

2.5 - Les émissions de gaz à effet de serre

Conformément à son mix énergétique comparativement peu intense en énergies fossiles, la Suède affiche un bilan d'émissions de gaz à effet de serre (GES) assez réduit par rapport à la moyenne européenne. Selon les données officielles de la CCNUCC⁸, les émissions totales de GES (hors UCTF⁹) s'élevaient à 58 Mt. CO₂eq en 2012, ce qui représente une baisse de 20 % par rapport à 1990.

Etant donné la faible intensité carbone du secteur électrique et des réseaux de chaleur, le secteur des transports représente de loin le premier secteur émetteur de CO₂ à 45 %, devant l'industrie et la production de chaleur et d'électricité.

Les émissions de GES par tête se situent également à un niveau relativement peu élevé, à 6 tonnes CO₂eq par habitant, contre 7,5 en France et une moyenne de 9 tonnes pour l'UE 28.



Graphique 14. Émissions de GES par habitant en France et en Suède (T. CO₂eq)

À noter que la Suède partage avec l'Allemagne l'objectif de réduction des émissions de GES le plus ambitieux de l'Union Européenne à l'horizon 2020 : -40 % par rapport à 1990 dans les secteurs non couverts par l'EU ETS.

7 - L'agence de l'énergie suédoise indique qu'au total, plus d'un million de pompes à chaleur étaient installées dans des maisons individuelles suédoises. En faisant l'hypothèse qu'il n'y ait qu'une seule PAC par maison, cela voudrait dire que plus de la moitié des maisons individuelles seraient équipées de PAC en chauffage principal ou d'appoint.

8 - Conférence-cadre des Nations Unies sur le changement climatique.

9 - Émissions liés à l'utilisation des terres, leurs changements et la forêt. Dans le cas de la Suède, l'inclusion ou non de l'UCTF dans le périmètre des émissions a un effet déterminant : en raison de sa forte couverture forestière, la Suède constitue un puits de carbone important. Ainsi, le bilan d'émissions avec UCTF est de 61 % inférieur au bilan traditionnel (57,6 - 35,4 = 22,2 Mt. CO₂eq). Si l'UCTF n'est pas pris en compte pour les objectifs du protocole de Kyoto, ou encore les objectifs européens, la question se pose quant à l'objectif national d'atteindre une « économie neutre en carbone » d'ici 2050.

L'expérience de la taxe carbone suédoise

La réforme de la fiscalité écologique en Suède remonte à 1991. Au-delà de l'introduction d'une taxe carbone (initialement à 27 €/T. CO₂), cette réforme a également créé une taxe sur les émissions de soufre (également focalisée sur les énergies fossiles), accompagnée d'une baisse de 50 % de la taxe sur l'énergie existante. Le niveau de la taxe carbone a régulièrement été revu à la hausse et se situe actuellement à environ 120 €/T. CO₂, mais ces hausses successives ont pour la plupart été compensés par des réductions fiscales ailleurs (taxation du travail en particulier). L'impact potentiel sur l'industrie a été amorti par la réduction d'autres taxes et un niveau moins élevé de la taxe carbone (30 % au lieu de 100 % pour les ménages). L'impact le plus visible de la taxe carbone a certainement été le basculement vers la biomasse dans les réseaux de chaleur : en effet, la réforme fiscale a significativement renforcé la compétitivité de la

biomasse vis-à-vis du charbon et du fioul, en doublant le prix du charbon, et la production de chaleur à partir de biomasse a plus que quadruplé entre 1990 et 2010 pour atteindre 70 % de l'énergie utilisée. La question d'un renforcement de la taxe carbone se pose actuellement en lien avec l'objectif de décarbonation des transports : si la taxe à elle seule ne pourrait certainement pas créer le signal prix nécessaire pour encourager d'autres formes de mobilité (compétitivité entre véhicule électrique/biogaz et essence par exemple), elle peut néanmoins permettre d'accroître les fonds disponibles pour encourager l'innovation et accorder des subventions à la mobilité verte.

Enfin, la coexistence parallèle de la taxe carbone et du système d'échange européen de quotas CO₂ n'a pour l'instant posé aucun problème en Suède.

3 - La stratégie suédoise de transition énergétique : objectifs, instruments et défis futurs

Comme nous l'avons vu dans la première section, la Suède a déjà structurellement engagé sa transition énergétique depuis le premier choc pétrolier : décarbonation du secteur électrique, développement des énergies renouvelables dans les secteurs de l'électricité et de la chaleur et renforcement de l'efficacité énergétique dans les bâtiments. Enfin, en mettant en œuvre dès 1990 une taxe carbone, le pays a fait le choix de fournir un signal prix clair pour favoriser la décarbonation de l'économie sur le long terme. Cependant, le pays ne compte pas se reposer sur ses lauriers et affiche des objectifs ambitieux pour les prochaines décennies qui, bien que sa situation de départ soit favorable, représentent un énorme défi.

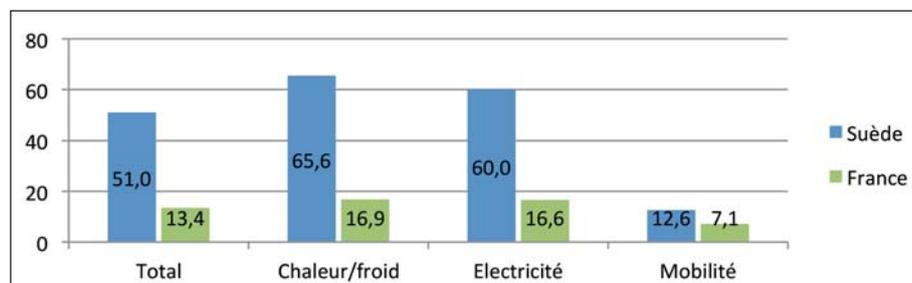
Les principaux objectifs de la transition énergétique en Suède	
2020	<ul style="list-style-type: none"> - Réduire des émissions de GES de -40% entre 1990 et 2020 - Augmenter la part des énergies renouvelables pour atteindre 50% de la consommation finale brute et 10% dans les transports - Éliminer l'usage des énergies fossiles dans le chauffage - Améliorer l'efficacité énergétique de 20%
2030	- Rendre le transport routier indépendant des énergies fossiles à l'horizon 2030
2050	- Atteindre une économie neutre en carbone

Ces objectifs méritent quelques explications afin d'évaluer leur ampleur et les défis futurs.

Tout d'abord en ce qui concerne l'objectif de réduction de GES à l'horizon 2020 : celui-ci est nettement plus élevé que la réduction exigée pour la Suède à travers le paquet énergie-climat européen pour 2020 dans le secteur non-ETS. Sous le système de partage d'effort, l'objectif assigné à la Suède est de -17 % par rapport à 2005. Si l'objectif européen pour la Suède a été quasiment réalisé dès 2012 (-14 %) ¹⁰, le chemin pour atteindre -40 % (par rapport à 1990) reste encore long. L'objectif reste atteignable, à condition que la Suède engage une véritable transition dans le secteur de la mobilité (conformément à son objectif 2030), qui représente le premier secteur émetteur hors-ETS (plus de 50 %). À noter également que la Suède se réserve la possibilité d'atteindre jusqu'à un tiers de l'objectif national 2020 par des réductions d'émissions dans des pays tiers, par exemple à travers le mécanisme de développement propre.

10 - Chiffres issus de la base de données Eurostat (t2020_35).

En ce qui concerne le développement des énergies renouvelables, la Suède a déjà réalisé dès à présent son objectif 2020 : dès 2012, la part des énergies renouvelables dans la consommation finale brute¹¹ a atteint 51 % du total. Le progrès réalisé par la Suède depuis 10 ans est considérable, notamment dans les secteurs de l'électricité et de la chaleur, avec une part en augmentation de 10 % (électricité) et 20 % (chaleur) depuis 2004. Afin de conforter cette dynamique, le pays s'est doté de deux objectifs supplémentaires d'ici 2020 : l'objectif d'électricité renouvelable additionnelle couvert par le dispositif des certificats verts a été porté de 17 TWh à 25 TWh (d'ici 2020) afin de ne pas freiner le développement. Du côté de la chaleur, le gouvernement a fixé l'objectif d'éliminer les énergies fossiles pour le chauffage d'ici 2020.



Graphique 15. Part des énergies renouvelables dans la consommation finale brute en 2012 (%)

Source : Eurostat 2014

L'objectif d'efficacité énergétique que s'est fixé la Suède dans le cadre de l'objectif européen pour 2020 est comparative-ment moins ambitieux. En effet, plutôt que de viser une réduction en valeur absolue (par rapport à une valeur de référence), l'objectif suédois vise à atteindre une réduction de l'intensité énergétique du PIB de 20 % entre 2008 et 2020. Cet objectif est complété par un objectif sectoriel sur les bâtiments : réduire la consommation annuelle par m² de 20 % entre 1995 et 2020, et de 50 % entre 1995 et 2050. Bien que partant d'un niveau d'efficacité énergétique global relativement élevé (notamment pour les bâtiments), l'ambition plutôt faible du volet efficacité énergétique dans la stratégie suédoise est clairement une faiblesse stratégique. Par ailleurs, étant donné le niveau très élevé de consommation d'électricité par habitant (cf. graphique 6), l'absence d'objectif spécifique sur l'efficacité électrique est regrettable, bien que la stratégie politique vise à éliminer à terme le chauffage électrique par effet joule¹².

L'objectif de moyen terme d'un parc de véhicules « indépendant » des énergies fossiles d'ici 2030 est à la fois ambitieux et ambigu dans sa formulation. En effet, alors que cet objectif suggérerait dans un premier temps d'éliminer les carburants fossiles dans les transports routiers, la définition retenue dans le rapport de la commission dédiée à cette question fin 2013 propose une autre approche : « *The Commission has defined a fossil-fuel-independent vehicle fleet as a road transport system whose vehicles are driven primarily by biofuels or electricity* »¹³. Cela suppose qu'une flotte de véhicules hybrides – bien que fonctionnant en partie à l'énergie fossile – serait a priori suffisante pour atteindre l'objectif. En parallèle, la commission a proposé un objectif de réduction des GES dans les transports routiers de 80 % d'ici 2030, qui n'a cependant pas été transposé dans la loi pour l'instant.

De plus, malgré de nombreuses réussites sur la mobilité durable¹⁴, le sujet des véhicules individuels reste épineux en Suède : la consommation moyenne du parc de véhicules est actuellement plus élevée en Suède qu'en France (8L/100 km contre 6,8 en France), et le bilan est encore plus défavorable en ce qui concerne les véhicules neufs¹⁵. À ce stade, à défaut d'une hausse significative, le signal prix donné par la taxe carbone suédoise paraît donc insuffisant pour guider les investissements vers des véhicules plus propres, et l'introduction d'un système de bonus-malus à la française est actuellement en discussion, tout comme la notion d'une convergence de la fiscalité entre l'essence et le diesel d'ici 2020.

La question des biocarburants constitue un autre sujet essentiel pour la Suède. Si des progrès rapides ont été réalisés depuis 2004, avec une part des biocarburants en hausse de 4 % à 13 % en 2012, l'avenir paraît plus incertain. Les ventes de véhicules dédiés (éthanol) ont chuté récemment et malgré un programme dédié, les ventes de véhicules au gaz naturel véhicule (en lien avec des installations de biogaz) peinent à décoller. Un constat similaire peut être porté sur les véhicules électriques qui ne

11 - Selon les normes européennes, la consommation finale brute inclut la consommation finale, l'autoconsommation du secteur énergétique (pour l'électricité et la chaleur) ainsi que les pertes de distribution.

12 - Cet objectif a été introduit dès le début des années 2000, sans être associé à un calendrier spécifique. Entre 2006 et 2010, une subvention à l'investissement à hauteur de 30 % était accordée en cas de remplacement d'un chauffage électrique à effet joule par une solution plus efficace (réseau de chaleur, PAC, biomasse).

13 - Executive Summary du rapport de la commission suédoise pour la mobilité en 2030.

14 - À titre d'exemple : la part de la mobilité douce (vélo en particulier) en milieu urbain, le réseau de transports publics et la part relativement importante du transport ferroviaire et maritime de marchandises.

15 - Comparé à la moyenne européenne, les suédois achètent davantage de gros véhicules, avec un poids moyen et des émissions moyennes (g.CO₂/km) plus importants : 1 521 kg (135,4 g. CO₂/km), contre 1 386 kg (124 g) pour la France et 1 249 kg (117 g) pour le Danemark. EEA (2013) : Monitoring CO₂ emissions from new passenger cars in the EU : summary of data for 2012.

bénéficient pas d'une aide à l'investissement (en dehors d'un avantage fiscal réduit). Enfin, à ce stade, aucune orientation claire ne semble apparaître dans la stratégie nationale sur la limitation des besoins de mobilité et sur des mesures concrètes pour favoriser le transfert modal.

En ce qui concerne l'objectif de long terme d'atteinte d'une économie « neutre en carbone », il est à ce stade difficile d'évaluer précisément la faisabilité, étant donné l'horizon de temps considéré. Néanmoins, si la Suède se place sur une trajectoire compatible avec ses objectifs de moyen terme, cet objectif ne semble pas hors de portée. En effet, avec un secteur électrique déjà quasiment décarboné, un secteur de la chaleur qui devrait l'être d'ici 2020 (selon les objectifs fixés), beaucoup dépendra de la mise en œuvre de la stratégie 2030 et de l'effort de réduction dans le secteur des transports. Les émissions du secteur industriel pourraient être facilement compensées par les puits carbone existants, ouvrant de fait la perspective d'une économie neutre en carbone.

4 - Conclusion

Malgré son caractère exploratoire et superficiel vis-à-vis des nombreux aspects techniques et de gouvernance à considérer dans l'étude du cas suédois, l'analyse a permis d'illustrer que la transition énergétique est bien engagée et ancrée dans le paysage suédois. Au-delà de ses nombreux avantages naturels, notamment pour la biomasse et l'hydroélectricité, la Suède témoigne ainsi d'une véritable volonté de réaliser une transition ambitieuse, afin d'aboutir à une économie neutre en carbone d'ici 2050.

Engagée après le choc pétrolier de 1973 autour d'un effort substantiel de réduction de la consommation d'énergies fossiles dans les secteurs de la chaleur et de l'électricité, la transition suédoise lui confie un rôle précurseur dans de nombreux domaines. Cet effort est particulièrement visible sur deux aspects clés : la mise en place et le renforcement progressif de la réforme fiscale écologique autour de la taxe carbone et le développement des réseaux de chaleur et de la cogénération à l'échelle locale en lien avec la valorisation de la biomasse.

Au-delà de la transformation technologique, ce processus démontre également l'importance cruciale d'un autre aspect de la transition suédoise, peu abordé dans cet article mais qui devrait faire l'objet d'analyses approfondies pour nourrir le débat français : la gouvernance du système énergétique et l'important pouvoir accordé historiquement aux acteurs locaux pour développer des systèmes intégrés. En effet, si la taxe carbone a effectivement joué un rôle clé dans le fuel switch des réseaux de chaleur vers la biomasse, le développement de ces réseaux (et l'articulation forte avec la gestion des déchets) illustre avant tout la réussite du modèle de gouvernance locale, fondé sur l'articulation entre les régies municipales et la planification territoriale intégrée¹⁶.

À moyen et long terme, les objectifs très ambitieux de la Suède font apparaître de nouveaux défis et d'importantes incertitudes qui pourraient déstabiliser le système suédois. En premier lieu, l'objectif d'un parc de véhicules « libre de carbone » d'ici 2030, exigera une transformation structurelle dont l'ampleur doit encore être mesurée et qui exigera un ensemble de nouveaux instruments politiques pour guider cette dynamique. En effet, il est peu probable qu'une hausse de la taxe carbone suffise pour déclencher les transformations nécessaires sur le plan technologique et surtout, au niveau de l'aménagement des territoires et du transfert modal. Néanmoins, **le fait que la Suède ait décidé de placer la question de la mobilité au cœur de sa stratégie de transition d'ici 2030 reste un signe de volontarisme politique fort, dans un contexte européen où la question électrique continue souvent à monopoliser les débats.**

En second lieu, de nombreux observateurs pointent du doigt un paradoxe du modèle suédois qui pose question. En effet, alors que l'atteinte des objectifs très ambitieux de long terme exigera un effort d'innovation très important (sur le plan technologique mais aussi organisationnel), l'action politique de court terme reste en majorité gouvernée par une confiance forte envers les instruments de marché, propice à réduire les coûts des réductions d'émission à court terme, mais beaucoup moins à générer cet effort d'innovation dont le pays aura besoin à moyen et long terme.

Enfin, malgré les annonces de la nouvelle coalition au pouvoir depuis septembre 2014 (socio-démocrates et Verts) de revenir à un projet de sortie du nucléaire, la question reste soumise à d'importantes incertitudes qui doivent être clarifiées rapidement vu que la Suède connaît les mêmes risques associés à un parc nucléaire vieillissant que la France. La définition d'une stratégie de long terme sur le mix électrique serait aussi l'opportunité de mettre en œuvre un réel plan d'efficacité électrique, un aspect sur lequel la Suède démontre les mêmes symptômes que la France.

¹⁶ - Dès 1977, le cadre légal suédois mettait en avant le rôle des municipalités dans la mise en œuvre de la politique énergétique, encourageant les collectivités à intégrer les mesures d'efficacité et de production énergétique autonome dans la planification territoriale, en lien avec les plans d'urbanisation. Di Lucia/Ericsson (2014) : *Low-carbon district heating in Sweden – Examining a successful energy transition. Energy Research & Social Science N° 4.*