

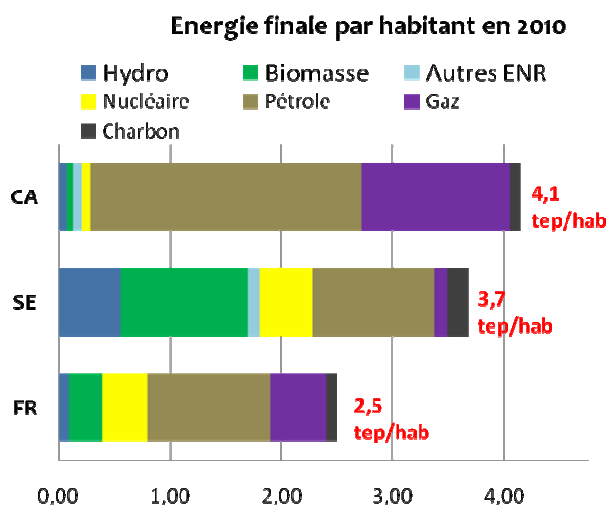
## L'impact des EnR : regards croisés sur la Suède et la Californie

La Suède et la Californie affichent des objectifs ambitieux en matière d'énergies renouvelables et imposent toutes deux des quotas d'EnR pour la production d'électricité. Mais elles présentent chacune des trajectoires de développement bien spécifiques, en particulier en termes de technologies développées et de rythme de croissance. Ces divergences se traduisent par des impacts singulièrement différents des politiques EnR dans les deux pays.

Alors qu'avec 48% de son énergie finale d'origine renouvelable (contre 33% en 1990), la Suède a d'ores et déjà pratiquement atteint son objectif (de 50% d'ici à 2020), la Californie, elle, doit fournir encore des efforts importants, la part d'électricité d'origine renouvelable (hors grand hydraulique) visée étant 33% en 2020 alors que cette part n'était que de 18% en 2010.

Bien que l'énergie éolienne constitue un pôle de développement important dans les deux Etats, le développement des EnR est porté principalement par la filière biomasse en Suède, notamment en cogénération pour le chauffage urbain et la production d'électricité ; alors qu'en Californie ce sont plutôt les technologies solaires (PV et CSP) qui constituent la majeure partie des investissements pour la production d'électricité, en lieu et place de celle produite à partir de gaz naturel. Analyse des impacts sur les coûts, sur l'indépendance énergétique, et sur les émissions de CO2.

Maxime Depalle (Ecole Polytechnique)



Part des EnR dans l'énergie finale en 2010

	France	Suède	Californie
Hydro	4,0%	15,2%	1,8%
Biomasse	12,0%	31,0%	1,4%
Autres EnR	0,0%	2,8%	1,9%
TOTAL EnR	16,0%	49,0%	5,1%

Part des EnR dans l'électricité en 2010

	France	Suède	Californie
Hydro	11,7%	46,2%	12,4%
Biomasse	1,2%	8,6%	2,4%
Eolien	1,8%	2,4%	4,7%
PV	0,1%	0,0%	0,3%
TOTAL EnR	14,9%	57%	24,4%

Sources : EIA, CEC, Swedish Energy Agency et AIE.

## LE COÛT ÉCONOMIQUE DES ENR

Comme le montre la comparaison des coûts de production de l'électricité des principales technologies commercialisées dans ces deux pays, l'impact en termes de coût de l'énergie est contrasté.

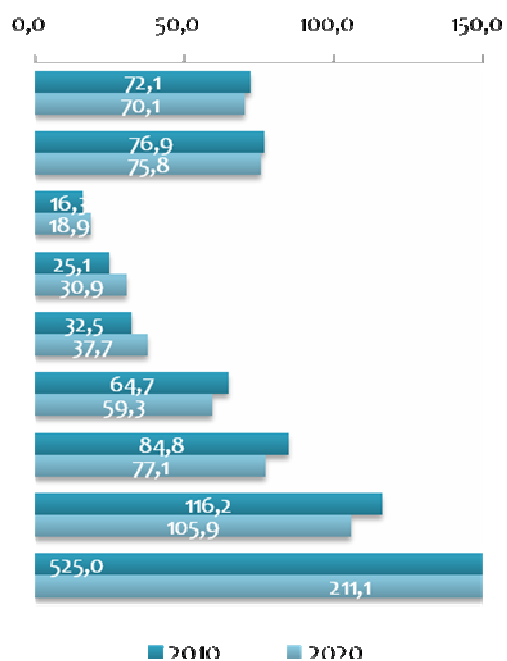
### Suède

En effet, en Suède le développement de la biomasse pour la production d'électricité va de pair avec la multiplication des centrales à cogénération, tirée en grande partie par l'utilisation croissante des réseaux de chauffage urbain. Cela permet à la technologie, malgré des coûts d'installation plus élevés et des coûts de combustibles comparables (de l'ordre de 30 €/MWh), de rester tout à fait compétitive face à des moyens de production classiques comme les cycles combinés à gaz (CCGT). Ces centrales pourraient même se passer du bénéfice lié à la vente des certificats verts qui, dans ce pays, sont associés à la production d'électricité d'origine renouvelable.

Par ailleurs, le prix de ces certificats, qui représente en théorie l'écart entre le coût de production marginal des EnR soumises aux quotas et le coût de production marginal du reste du parc, représentent un surcoût assez faible pour les consommateurs : en 2012 le prix d'un certificat s'établissait autour de 23€ soit 4€/MWh avec un quota d'EnR (hors grand hydraulique) de 18%<sup>1</sup>.

Concernant l'utilisation de la biomasse directement par les consommateurs (industriels, ménages ou secteur tertiaire), les biocombustibles sont et devraient rester tout à fait compétitifs par rapport au pétrole ou au gaz (autour de 20€/MWh pour les sous-produits forestiers et les copeaux de bois en 2020).

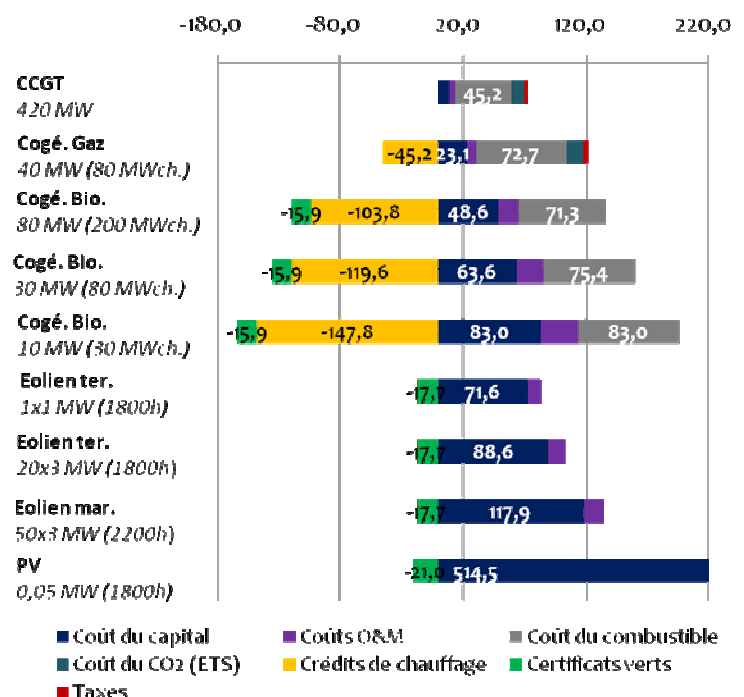
Coûts de production de l'électricité en Suède (€/MWh)



Taux d'actualisation : 6%    Prix du CO<sub>2</sub> : 30€/t  
 Prix du gaz : 26€/MWh

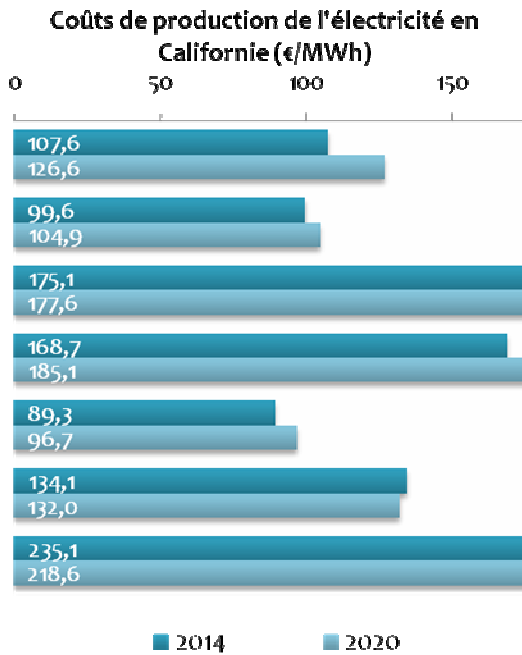
Source : Elforsk, Beräkningsmodell - El från nya och framtida anläggningar.

Décomposition des coûts de production en 2010 (€/MWh)

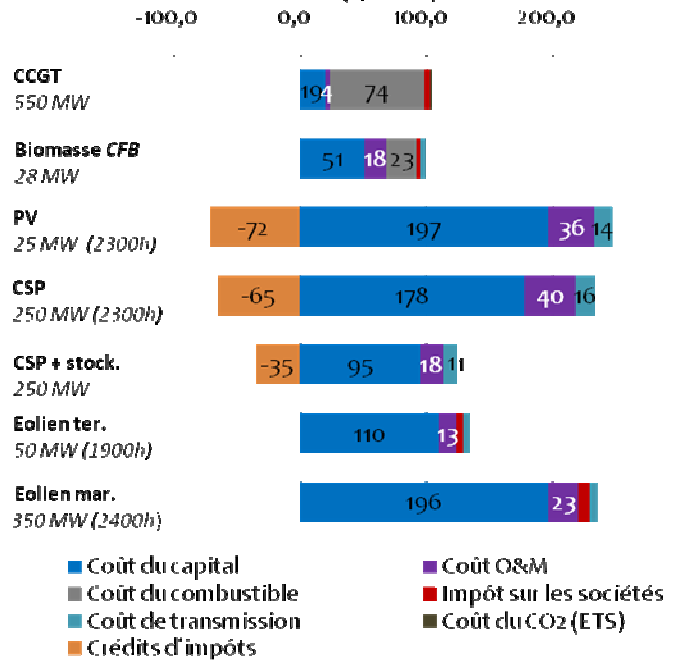


<sup>1</sup> Ce quota est amené à évoluer au fil des années afin de maintenir une production d'EnR de 25 TWh, il devrait atteindre son maximum en 2020 autour de 19% puis décroître jusqu'à 0% en 2035.

Californie



**Décomposition des coûts de production en 2014 (€/MWh)**



Taux d'actualisation : 6%    Prix du CO<sub>2</sub> : 30\$/t  
 Prix du gaz : 30\$/MWh en 2014, 60\$/MWh en 2030

Source : California Energy Commission's Cost of Generation

A l'inverse, en Californie les technologies solaires sont loin d'être aussi compétitives qu'un moyen thermique classique malgré des subventions, sous forme de crédits d'impôt, importantes. Ainsi, elles connaissent une croissance spectaculaire : elle devraient représenter 14% de l'électricité distribuée par les trois plus grands fournisseurs en 2020 contre à peine 1% en 2012.

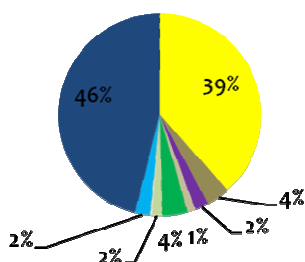
En outre, même en prenant en compte une baisse des coûts d'installation d'ici à 2020 (de 3000 €/kW à 1900 €/kW pour le PV), ceux-ci devraient à peine compenser l'arrêt programmé des subventions en 2016. La Commission de l'Energie de Californie (CEC) anticipe ainsi une hausse des prix de l'électricité de 34% entre 2012 et 2020 en raison notamment du coût supplémentaire que représente les quotas d'EnR.

ENR ET INDEPENDANCE ENERGETIQUE

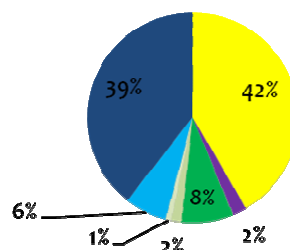
En termes d'indépendance énergétique et de sécurité d'approvisionnement les bénéfices des EnR sont aussi différenciés.

Suède

Electricité produite en 2010 (145 TWh)



Electricité produite en 2020 (175 TWh)



Sources : Energimyndigheten, El-, gas- och fjärrvärmeförsörjningen 2010 (2012) ; Energimyndigheten, Långsiktsprognoz 2012.

■ Nucléaire ■ Pétrole ■ Gaz ■ Autres fossiles ■ Biomasse ■ Déchets ■ Tourbe ■ Eolien ■ Hydraulique

En Suède, le développement des EnR pour la production d'électricité se traduit presque exclusivement par une augmentation des moyens de production et une hausse de la quantité d'électricité produite. Toutefois, la consommation d'électricité devrait, elle, très peu évoluer : les prévisions pour 2020 indiquent ainsi que le pays devrait être exportateur net à hauteur d'environ 13% de sa production.

En ce qui concerne la production de chaleur, le développement de la biomasse d'une part accompagne l'augmentation de la consommation du secteur industriel, et d'autre part se substitue au pétrole et à l'électricité dans le secteur tertiaire et chez les ménages. Si on ajoute à cela une part des agrocarburants et de l'électricité encore très marginale et en faible croissance, le développement des EnR se traduit au final par un faible déplacement de la part des énergies fossiles par rapport à leur niveau actuel (diminution de 4,9% entre 2010 et 2020 d'après l'agence suédoise de l'énergie).

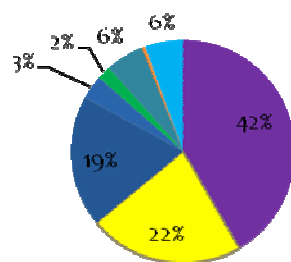
En outre, l'impact en termes d'indépendance énergétique doit prendre en compte que la Suède importe une partie de la biomasse qu'elle utilise. Il est toutefois difficile de dire précisément dans quelles proportions puisque de façon tout à fait surprenante il n'existe toujours pas de statistiques complètes faisant état des importations (et exportations) des biocombustibles. Pour autant, concernant uniquement l'éthanol et les granulés de bois, le pays est déjà importateur net<sup>2</sup>.

Néanmoins ce changement de type d'importations n'est pas sans intérêt dans la mesure où il peut améliorer la sécurité d'approvisionnement, diversifiant ses sources en déplaçant des importations de pays "sensibles" (Proche-Orient) vers des pays plus "stables" (Europe, Amérique du Sud).

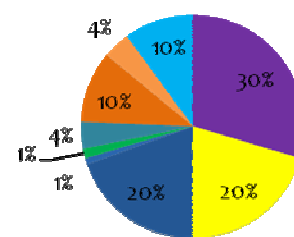
<sup>2</sup>En 2011, à hauteur de 235000 m3 pour l'éthanol et de 3TWh pour les granulés de bois

## Californie

Electricité distribuée par les IOUs en 2012 (200 TWh)



Electricité distribuée par les IOUs en 2020 (180 TWh)



■ Gaz naturel ■ Nucléaire ■ Grand Hydraulique ■ Petit Hydraulique ■ Biomasse ■ Geothermie ■ PV ■ CSP ■ Eolien

Sources : CEC, Energy Almanac ; CPUC, RPS 3rd and 4th Quarter 2012 Report

Etant donné que la biomasse est très peu utilisée actuellement comme agrocarburant ou pour la production de chaleur et que la dynamique ne va pas dans le sens d'un essor de ces usages, l'amélioration de l'indépendance énergétique par les EnR en Californie doit surtout être considérée au niveau de la production d'électricité.

En effet, la production électrique de la Californie ne suffit pas à couvrir la demande et l'Etat doit importer environ 30% (contre 20% avant la crise de l'énergie de 2001) de son électricité d'Etats voisins<sup>3</sup>. Toutefois, l'enjeu vis à vis des risques dus à la dépendance aux importations perd un peu de son importance ici. D'une part, les importations d'électricité d'Etats voisins restent des échanges intra-nationaux et, d'autre part, pour ce qui est des énergies fossiles, seul un quart du gaz naturel<sup>4</sup> importé provient de l'étranger, qui plus est d'un pays très stable politiquement : le Canada.

L'intérêt, en termes de dépendance, pour la Californie réside surtout dans la diminution du pétrole importé de l'étranger. Actuellement 30% du pétrole consommé dans l'Etat provient de l'étranger,

principalement d'Irak et d'Arabie Saoudite. Toutefois, bien que contrairement à la Suède, les possibilités d'électrification des usages soient importantes en Californie, l'énergie fossile la plus susceptible d'être substituée, à court terme, est le gaz naturel et non pas le pétrole.

A défaut donc d'un développement des agrocarburants ou de l'essor des véhicules électriques, l'impact des EnR sur l'indépendance énergétique paraît négligeable.

<sup>3</sup>La nature de l'électricité importée n'est pas complètement spécifiée, mais la CPUC (California Public Utilities Commission) estime, en prenant en compte notamment les contrats d'approvisionnement, qu'elle provient principalement de centrales à charbon, de centrales nucléaires, de barrages hydroélectriques et de centrales au gaz naturel.

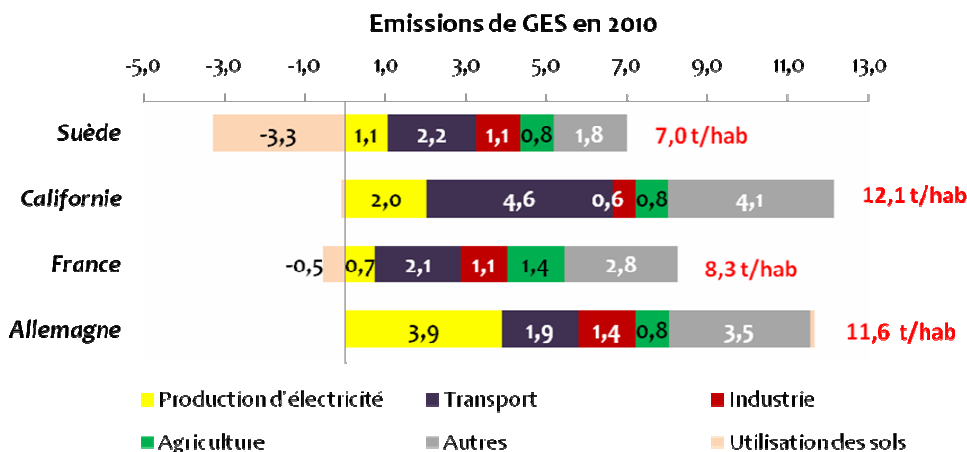
<sup>4</sup>Sur les 680 TWh de gaz naturel utilisés en Californie, 220 TWh le sont pour la production d'électricité

Si l'impact de la diminution de la quantité d'électricité importée des Etats voisins est négligeable en termes de risques liés à la dépendance, ce n'est pas le cas pour ce qui est de la sécurité d'approvisionnement. En effet, une production électrique indigène plus importante contribue à diminuer les risques de congestion au niveau des interconnexions lorsque l'Etat doit faire face à des pics de consommation. Cependant ces bénéfices (qui correspondraient plus ou moins à la valorisation du risque d'un black-out), doivent être mis en regard avec l'impact de

l'intégration de quantités importantes d'énergies intermittentes.

Ainsi, la CEC estime ainsi que l'intégration de 33% d'EnR dont une majorité provenant de sources intermittentes est tout à fait réalisable techniquement mais que la production déplacée par ces énergies se répartit en part égale entre la production interne et les importations, ce qui signifie que la production d'1 MWh d'EnR intermittente au sein de l'Etat ne contribuera à augmenter son indépendance énergétique que de 0.5 MWh.

## ENR ET EMISSIONS DE CO<sub>2</sub> ÉVITÉES



Sources : UNFCCC ; California Air Resources Board

### Suède

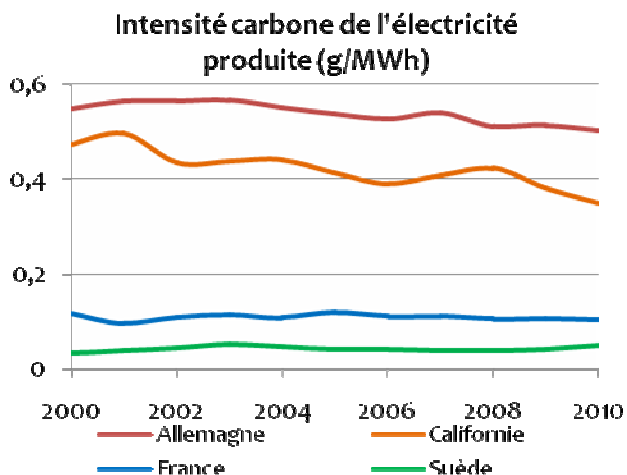
La performance de la Suède est actuellement remarquable. Elle résulte notamment d'un « mix » électrique principalement composé d'hydro-électricité et de nucléaire, qui s'est ainsi substitué au pétrole et a entraîné une électrification massive des usages après le 1er choc pétrolier et jusqu'à la fin de années 80 ; et de l'extension prise par les réseaux de chaleur urbains associée à un délaissement des énergies fossiles au profit de la biomasse suite à la mise en place d'une taxe carbone au début des années 90.

L'électricité étant déjà presque complètement décarbonée, la réduction des GES par l'utilisation des EnR repose principalement sur les émissions que l'utilisation de la biomasse permet d'éviter. Or, celles-ci sont délicates à déterminer car, d'une part la biomasse ne déplace pas que des énergies fossiles, et d'autre part, le calcul de son contenu carbone nécessite des analyses fines et propres à chaque biocombustible. Plus fondamentalement, émerge, dans ce contexte, une interrogation sur la capacité du pays à diminuer encore davantage son intensité carbone, à défaut d'une électrification encore plus importante des usages, dont les prévisions jusqu'en 2030 ne font, pour l'instant, nullement état.

### Californie

La détermination précise de l'énergie déplacée par les EnR en Californie est compliquée par la nature intermittente des énergies développées et la sollicitation de moyens thermiques flexibles pour lisser la production électrique. Dans un premier temps, l'impact de l'intermittence semble faible comme l'indique la CEC dans son rapport sur l'intégration des énergies intermittente. Elle estime ainsi que celles-ci permettent d'éviter environ 0,4 tonne de GES par MWh d'EnR, avec un taux de pénétration de 20% de l'électricité totale produite, en se substituant à de la production de pointe et de semi-base qui est assurée en Californie par des centrales à cycle combiné à gaz.

D'autres études indiquent une poursuite de la réduction des émissions de GES pour des taux jusqu'à 30% environ mais la question reste encore entière quant à savoir si celle-ci va se poursuivre à des taux plus élevés dans le cas où les moyens d'ajustement de la production à court terme seraient sollicités davantage.



Sources : UNFCCC ; California Air Resources Board

En définitive, le développement des EnR contribue bel et bien à l'objectif de réduction des émissions de GES dans l'état américain (10,5 t/hab en 2020 et même 1,7 t/hab en 2050). En revanche, si les énergies renouvelables présentent un intérêt certain pour la maîtrise des coûts de l'énergie dans la nation scandinave, à l'inverse, la Californie voit ses coûts de production de l'électricité augmenter en raison de la mise en place de quotas d'EnR et pourrait, en outre, être amenée à faire face à des surcoûts liés à l'intermittence des énergies qu'elle développe.

Créé en 2008 auprès du ministre du chargé du développement durable, le Conseil économique pour le développement durable a pour mission de mobiliser des références économiques pour éclairer les politiques de développement durable.

Outre le délégué interministériel au développement durable et le président délégué du Conseil d'analyse économique, membres de droit, ce Conseil est composé de vingt cinq membres reflétant la diversité de la recherche académique et de l'expertise des parties prenantes sur les thématiques économiques liées au développement durable.

Les services du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, notamment le Commissariat général au développement durable, sont étroitement associés aux travaux du Conseil.

Ces « références » établies dans le cadre de ses travaux, et diffusées pour stimuler le débat, n'engagent que leurs auteurs.

**Conseil économique  
pour le  
développement durable**

244 bd Saint-Germain  
75007 Paris  
Tel. : 01.40.81.21.22

**Directeur de la  
publication**  
Dominique Bureau