

La Suisse sur la voie de la décarbonisation profonde

Il est possible de limiter les émissions de CO₂ liées à l'énergie à une tonne par habitant et par an en 2050. Les différents scénarios montrent que les coûts engendrés sont supportables pour l'économie. *Philippe Thalmann, Marc Vielle*

Abrégé Pour vérifier s'il est possible de limiter les émissions de CO₂ liées à l'énergie à une tonne par habitant et par an en 2050, contre 5,1 tonnes aujourd'hui, l'EPFL a défini un scénario de référence n'intégrant que les dispositions déjà décidées pour 2050. Comme les résultats obtenus sont insuffisants, trois autres scénarios ont été élaborés pour la période 2021-2050. Tous remplacent les mesures d'encouragement par une taxe CO₂ généralisée. Le premier scénario intègre, en outre, le captage et le stockage du CO₂ (CSC), tandis que le deuxième l'exclut et que le troisième ajoute une contrainte relative à la consommation d'électricité. Dans les trois cas, la décarbonisation coûte seulement l'équivalent de 1% de revenu disponible, bien que sa mise en œuvre soit simultanée à l'abandon du nucléaire.

Est-il techniquement et économiquement possible de réduire les émissions de CO₂ d'ici 2050, afin que le réchauffement climatique reste inférieur à 2°C? C'est la question posée par le Sustainable Development Solutions Network des Nations Unies ainsi que l'Institut du développement durable et des relations internationales. Plus de trente équipes de recherche dans quinze pays responsables de plus de 70% des émissions de gaz à effet de serre ont relevé le défi dans le cadre de la plateforme Deep Decarbonization Pathways Project (DDPP)¹. Elles sont chargées d'ouvrir des voies pour une décarbonisation profonde de leur pays et d'en vérifier la faisabilité. En Suisse, l'Office fédéral de l'environnement a confié ce mandat à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et à Infras.

L'objectif est de limiter les émissions de CO₂ liées à l'énergie à une tonne par habitant an en 2050, contre 5,1 tonnes aujourd'hui. La baisse serait donc de 76% par rapport à 1990 (sans le transport aérien international). La Suisse n'émettrait plus que 9,8 millions de tonnes par an. Un scénario de référence a été défini, décrivant la trajectoire économique de la Suisse jusqu'en 2050. Il n'intègre que les dispositions déjà décidées. Les scénarios de décarbonisation («scénarios DDP») incluent des mesures

permettant d'atteindre l'objectif défini. Ils sont évalués en termes d'écarts par rapport au scénario de référence.

Scénario de référence: 20% de CO₂ en moins en 2020

Le scénario de référence fait baisser les émissions de CO₂ de 20% en 2020 par rapport à 1990 en utilisant les instruments économiques prévus: taxe CO₂ sur les combustibles, système d'échange de quotas d'émission (SEQUE) pour les entreprises intensives en énergie, mesures dans le domaine des bâtiments, réduction des émissions moyennes des nouvelles voitures jusqu'à 95 g CO₂/km, compensation jusqu'à 10% des émissions liées aux carburants importés. À partir de 2020, nous supposons que ces instruments sont maintenus au niveau qu'ils auront atteint.

Nous présumons, par ailleurs, que les centrales nucléaires sont débranchées: Mühleberg en 2019 et les quatre autres après une durée de vie de soixante ans, donc la dernière en 2044. Autre hypothèse: les véhicules électriques représentent 5% du parc automobile en 2020 et 40% en 2050.

Un modèle de calcul reposant sur un affaiblissement de la croissance

Pour simuler les différents scénarios et évaluer les instruments nécessaires pour atteindre l'objectif, nous utilisons le modèle macroéconomique d'équilibre général calculable Gemini-E3 développé par nos soins². Tous les scénarios utilisent les mêmes hypothèses concernant l'évolution économique nationale et mondiale jusqu'en 2050. La croissance en Suisse ralentira de 1,3% à 0,7% et la population atteindra 9,82 millions. Le

¹ www.deepdecarbonization.org.

² Bernard et Vielle (2008).

prix du pétrole montera à 162 USD le baril et celui du gaz naturel à 15,1 USD par MBtu³.

Pour la production électrique, en particulier les nouveaux agents renouvelables, nous utilisons les coûts estimés pour chaque source par *Prognos (2012)* et les potentiels selon le rapport de l'Office fédéral de l'énergie (Ofen)⁴. Dès 2025 il sera techniquement possible de capter et de stocker le CO₂ (CSC) pour un coût total de 100 USD₂₀₁₂/tCO₂.

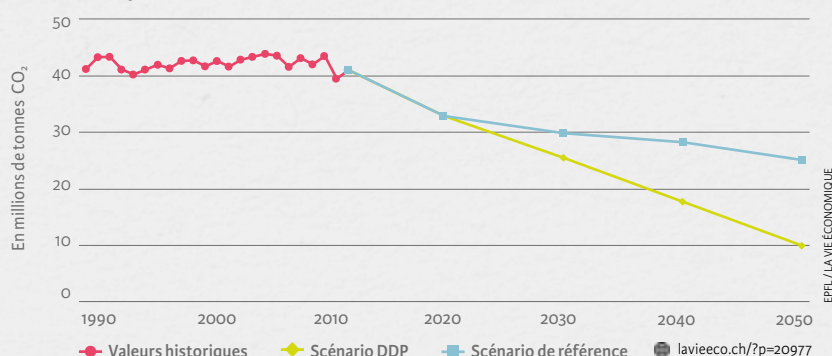
Trois scénarios de substitution à partir de 2021

La simulation du scénario de référence suggère qu'il est possible de réduire les émissions de CO₂ de 20% en 2020 par rapport à 1990 en maintenant la taxe CO₂ au niveau actuel de 60 CHF/tonne et en élevant la taxe sur les carburants de 2 centimes par litre pour financer des compensations nationales et internationales. Le prix du certificat CO₂ atteindra 40 francs sur le marché SEQUE en supposant une allocation efficace et l'achat de certificats par les nouvelles centrales à gaz. À ces niveaux, les émissions de CO₂ continuent de reculer, jusqu'à 25 Mt en 2050, soit 39% de moins qu'en 1990 (voir *illustration 1*). La consommation d'électricité augmente de 0,3% par an, principalement à cause de la pénétration des véhicules électriques et des pompes à chaleur.

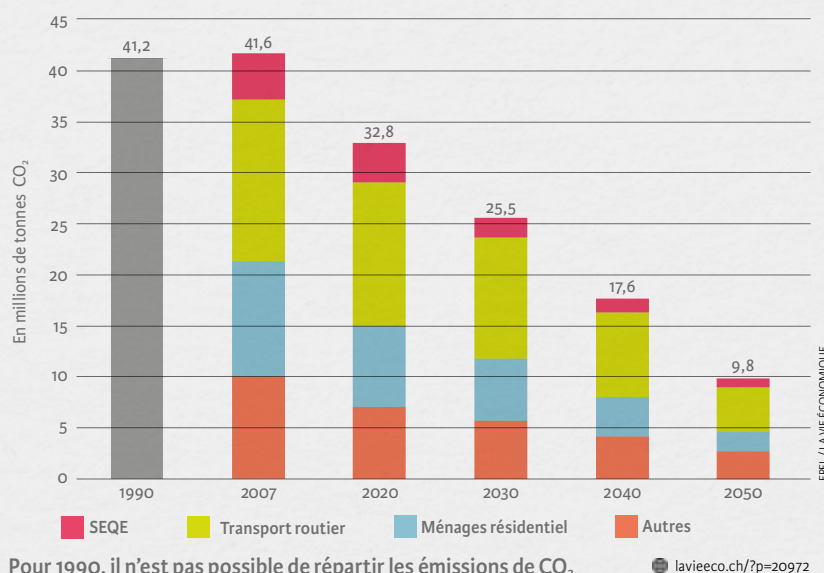
Un premier scénario avec CSC

Comme les émissions de CO₂ sont 2,5 fois trop importantes par rapport à l'objectif prescrit d'une tonne par habitant, le premier scénario DDP remplace dès 2021 les instruments existants par une taxe CO₂. Celle-ci, unique et uniforme, s'ajuste à l'objectif et sa recette est intégralement redistribuée: elle est donc bien plus «pure» que la taxe climatique prévue par le système d'incitation en matière climatique et énergétique (Sice). Comme ses effets ne se déploient qu'à partir de 2021, elle doit augmenter très rapidement, pour s'élever à 257 CHF/tCO₂ en 2030. Ce prix la situe à mi-chemin entre la taxe sur les carburants et celle sur les combustibles, calculée par Ecoplan dans son exemple de mise en œuvre du système d'incitation le plus ambitieux. La baisse des émissions de CO₂ est alors de 40% par rapport à 1990, ce qui correspond à l'objectif visé par le Sice.

III. 1. Émissions de CO₂ liées à l'énergie (sans transport aérien international)



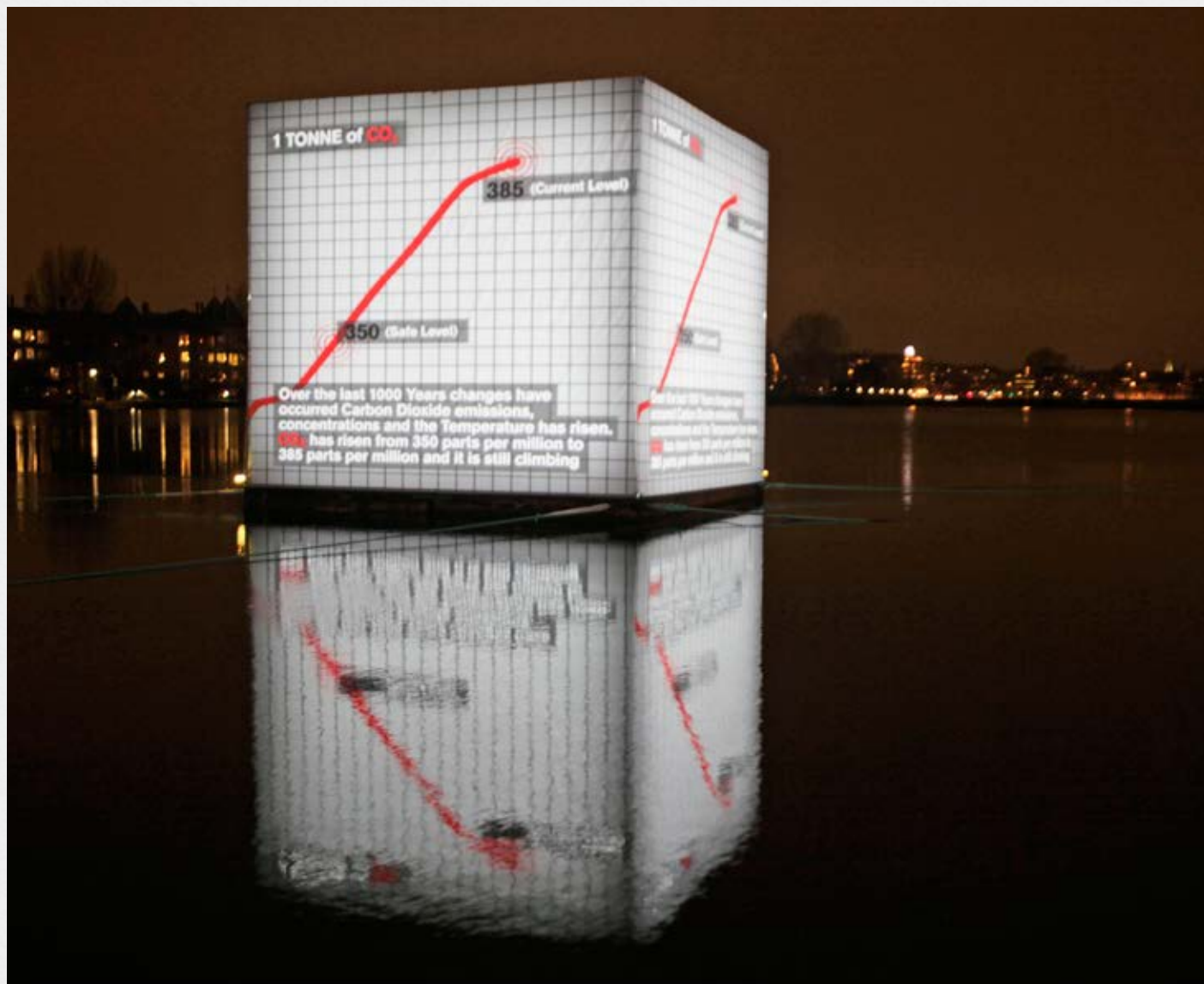
III. 2. Répartition des émissions de CO₂ dans le premier scénario DDP (sans transport aérien international)



La taxe continue d'augmenter, jusqu'à multiplier le prix de l'essence par 2,4 et celui de l'huile de chauffage par 4,4. *Bretschger et al. (2011)* ont aussi dû multiplier le prix du mazout par 4 pour obtenir une baisse de 80% des émissions de CO₂. À un tel tarif, les émissions des centrales thermiques au gaz sont intégralement séquestrées à partir de 2025. Cela représente 77 MtCO₂ cumulés sur la période 2025-2050, soit 3% de la capacité des réservoirs selon *Diamond et al. (2010)*. La décarbonisation de l'économie suisse (voir *illustration 2*) se réalise en partie grâce à une augmentation de la consommation d'électricité produite à partir de gaz naturel et d'agents renouvelables, dont le potentiel est utilisé à 100%. En 2050, la production d'électricité atteint 90 TWh – dont 21 TWh issus

3 La valeur de l'USD est celle de 2012 (USD₂₀₁₂).

4 Ofen (2012).



Cube symbolisant une tonne de CO₂ érigé à la conférence climatique de Copenhague, en 2009.

du gaz naturel –, soit une augmentation de 15% par rapport au scénario de référence.

Comme on vient de le voir, ce scénario a un coût pour les ménages, qui se répercute sur leur bien-être. Cette dernière notion est purement subjective et n'a donc qu'un intérêt ordinal qui peut se traduire ainsi: les scénarios de substitution mènent-ils à une situation inférieure, égale ou supérieure en ce domaine à celle du scénario de référence? Pour avoir une référence chiffrée sur laquelle se baser, on cherche la variation du revenu disponible qui modifie dans les mêmes proportions le bien-être défini pour le scénario de référence⁵. L'impact sur le PIB est légèrement plus faible et il n'est pas tenu compte des bénéfices

5 Ainsi, si on dit que le scénario coûte 1% de revenu disponible, cela signifie qu'il a le même impact sur le bien-être des ménages que si on leur enlève 1% de revenu disponible. Cependant, il faut bien garder en mémoire que ce revenu disponible n'est qu'une référence chiffrée permettant – par commodité – de hiérarchiser le bien-être (ou niveau de prospérité). Cette dernière notion inclut bien d'autres paramètres dont certains ne peuvent être évalués dans l'absolu.

environnementaux. Ainsi, le scénario DDP coûte 0,4% de revenu disponible en 2030 et 1,7% en 2050, à déduire des 38% de croissance des revenus par tête en 2050 par rapport à 2010. Ceci confirme la conclusion principale de *Bretschger et Ramer (2012)*: la Suisse peut réduire massivement ses émissions de CO₂ sans mettre son économie en péril et tout en restant ouverte sur un monde qui ne s'engage pas forcément sur le chemin de la décarbonisation.

Un deuxième scénario sans CSC

Le premier scénario DDP exige un CSC important pour atteindre l'objectif défini; ce procé-

dé est cependant sujet à plusieurs incertitudes (technologique, économique, etc.). Son acceptabilité sociale est d'autant plus incertaine que les réservoirs de stockage en Suisse se situent sous les zones urbanisées. C'est pourquoi nous avons simulé un *deuxième scénario* qui exclut cette technologie.

L'ensemble du potentiel des agents renouvelables étant déjà utilisé pour la production d'électricité, on ne peut pas renoncer aux centrales thermiques au gaz, dont les émissions de CO₂ ne peuvent pas être enfouies. Il faut donc presque doubler la taxe CO₂ par rapport au premier scénario DDP afin que les autres secteurs économiques et les ménages fournissent un effort supplémentaire. Cette taxe va aussi freiner la hausse de la consommation d'électricité, qui ne dépasse plus celle du scénario de référence. Le coût pour l'économie n'est finalement pas beaucoup plus marqué: 1,9% en 2050 par rapport au scénario de référence.

Un troisième scénario avec CSC et contrainte sur l'énergie électrique

Le premier scénario DDP obtient la décarbonisation non seulement avec l'aide du CSC, mais aussi en accélérant l'électrification de l'économie. Les importations de gaz naturel s'accroissent, ce qui contrevient à un autre objectif: réduire la dépendance énergétique de la Suisse. Nous simulons donc un *troisième scénario* DDP qui autorise le CSC, mais ajoute une contrainte relative à la consommation d'électricité. Le projet de révision de la loi sur l'énergie prévoit que la consommation d'électricité par habitant diminuera de 3% en 2020 et de 13% en 2035 par rapport à son niveau de 2000. Nous prolongeons ces objectifs vers une baisse de 18% en 2050, soit une consommation finale maximale de 63 TWh, qui peut être couverte sans recours au gaz naturel.

Une taxe sur les consommations d'électricité intermédiaires et finales, en sus de la taxe sur le



Vente de voitures électriques à Oslo. Ce type de véhicule est fortement présent dans la capitale norvégienne.

KEYSTONE

CO₂, permet d'atteindre cet objectif en renchérissant l'électricité de 88% en 2050. La taxe sur le CO₂ s'établit à un niveau intermédiaire entre les scénarios 1 et 2. Le coût pour l'économie est plus faible que dans les autres scénarios (1,5% par rapport au scénario de référence en 2050). Cela s'explique en partie par la suppression des importations de gaz naturel et en partie par une assiette fiscale plus large⁶.

Un objectif ambitieux, mais atteignable sans dommage

Les simulations ont montré que si l'objectif de 1 tonne de CO₂ énergétique par habitant en 2050 (transport aérien international exclus) est ambitieux, il peut être atteint, même en abandonnant le nucléaire. Le coût cumulé sur 2020-2050 équivaut à réduire le revenu disponible des ménages d'environ 1%. Les coûts sont contenus grâce à la taxe CO₂ uniforme, combinée, si nécessaire, à une autre sur l'électricité. Ce système encourage tous les secteurs économiques à augmenter leur efficacité énergétique, à remplacer les énergies fossiles par de l'électricité et à utili-

ser au maximum le potentiel des agents renouvelables. Enfin, nous montrons que l'objectif de décarbonisation profonde peut être atteint par différents chemins: avec ou sans CSC, avec ou sans contraintes sur la consommation d'électricité. Si ces différentes options ont un impact important sur le devenir du système énergétique suisse, elles ne modifient pas significativement son coût macroéconomique.



Philippe Thalmann

Professeur associé, Laboratoire d'économie urbaine et de l'environnement (LEURE), École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL).

Marc Vielle

Collaborateur scientifique, Laboratoire d'économie urbaine et de l'environnement (LEURE), École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL).

6 Maire et al. (2015)

Bibliographie

Bernard A. et Vielle M., «Gemini-E3, a General Equilibrium Model of International National Interactions between Economy, Energy and the Environment», *Computational Management Science*, 5(3), mai 2008, pp.173–206.

Bretschger Lucas et Ramer Roger, «Coûts et avantages d'un objectif climatique ambitieux», dans OcCC (éd.), *Objectifs climatiques et réduction des émissions. Une analyse et vision pour la politique climatique de la Suisse*, Berne, 2012, Organe consultatif sur les changements climatiques (OcCC), pp. 53–62.

Diamond L.W., Leu W. et Chevalier G., *Potential for geological sequestration of CO₂ in Switzerland. Study commissioned by the Swiss Federal Office of Energy*, Berne, 2010.

Maire S., Pattupara R., Ramachandran K., Vielle M. et Vöhringer F., *Electricity markets and trade in Switzerland and its neighbouring countries (Electra)*. Technical report, Econability, PSI, EPFL, 2015.

OFEN, *Potential des énergies renouvelables dans la production d'électricité. Rapport du Conseil fédéral à l'attention de l'Assemblée fédérale, selon l'art.28b, al. 2, de la loi sur l'énergie*, 2012. Adapté par INFRAS sur la base de R. Bacher et al., *EnergieRespekt. Der Schlüssel für eine Nachhaltige Energieversorgung*, Zurich, 2014, Faktor Verlag.

Prognos, *Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050 – Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000–2050. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie*, Bâle, 2012.