DES VOIES ENVISAGEABLES VERS L'OBJECTIF « ZÉRO NET »

Afin de limiter le réchauffement climatique conformément aux objectifs de l'accord de Paris sur le climat, les émissions de gaz à effet de serre doivent être considérablement réduites. La Suisse souhaite atteindre l'objectif « zéro net » d'ici 2050. Une étude sur l'économie énergétique menée par l'Institut Paul Scherrer (PSI), affilié au domaine des EPF, et l'Université du Pirée en Grèce fournit désormais des indications sur les instruments politiques et les mesures qui permettraient d'atteindre cet objectif.

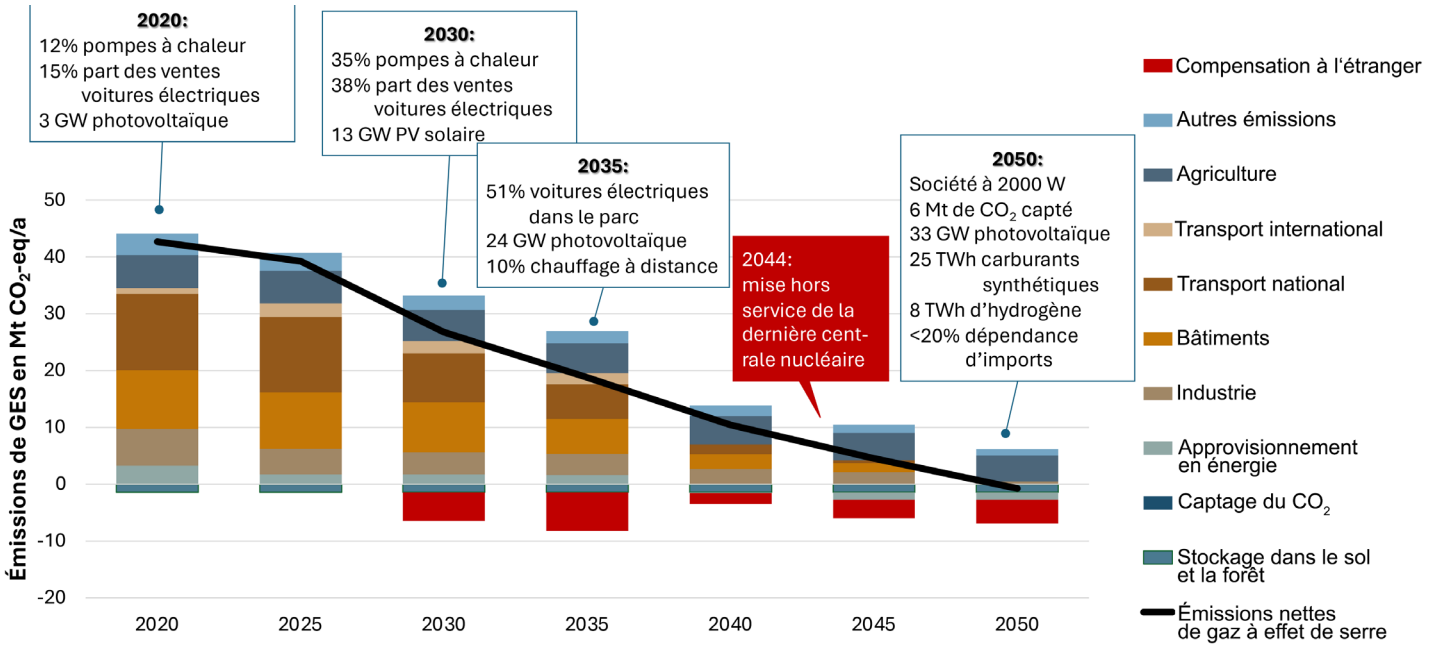


La voie vers l'objectif « zéro net » passe principalement par l'électricité issue de sources renouvelables. Photo: B. Vogel

Article spécialisé concernant les connaissances acquises lors d'un projet de recherche du programme de recherche Énergie – Économie – Société soutenu financièrement par l'Office fédéral de l'énergie. L'article a été publié, entre autres, dans le magazine spécialisé Electra (édition avril 2026).

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN



Émissions de gaz à effet de serre par secteur et étapes importantes vers la neutralité carbone, sur la base du scénario CLI90 de PoliZero, qui permet une compensation partielle des émissions suisses à l'étranger. Si aucune compensation à l'étranger n'est prévue pour 2050, la quantité de CO_2 capté passera de 6 à 10 Mt d'équivalent CO_2. Les « autres émissions » incluent toutes les émissions provenant des secteurs mentionnés qui concernent les gaz à effet de serre, mais pas le CO_2. Graphique : rapport final PoliZero

Dans le domaine de l'approvisionnement énergétique, la Suisse fait partie de l'Europe. L'interconnexion se manifeste notamment dans les lignes électriques ou les gazoducs. Elle se manifeste également dans le commerce international de droits d'émission ou dans les réglementations légales, pour lesquelles la Suisse s'aligne déjà aujourd'hui sur les dispositions de l'Union européenne. Dans ce contexte, il semble judicieux de prendre en compte les stratégies énergétiques et climatiques des États membres de l'UE lorsque la Suisse se demande quelles décisions politiques et quelles technologies permettront de réduire les émissions de gaz à effet de serre à « zéro net » d'ici 2050. « Zéro net » implique que les émissions de gaz à effet de serre ne dépassent pas les capacités d'absorption des puits naturels ou techniques.

« Penser l'Europe » est également l'approche d'une étude nommée PoliZero que des chercheurs de l'Institut Paul Scherrer (PSI, Villingen/AG) et de l'Université du Pirée en Grèce ont récemment menée et achevée après cinq ans de travail. « Notre étude n'a pas pour but de dire aux politiciens ce qu'ils ont à faire, mais plutôt de présenter les instruments et mesures politiques qui peuvent être utilisés pour atteindre l'objectif ‹ zéro net › et ce qu'ils permettent d'accomplir », explique Evangelos Panos, économiste spécialisé dans l'énergie au PSI et responsable du projet PoliZero. Le projet de recherche a été financé dans le cadre du programme de recherche « Énergie – économie – société » de l'OFEN.

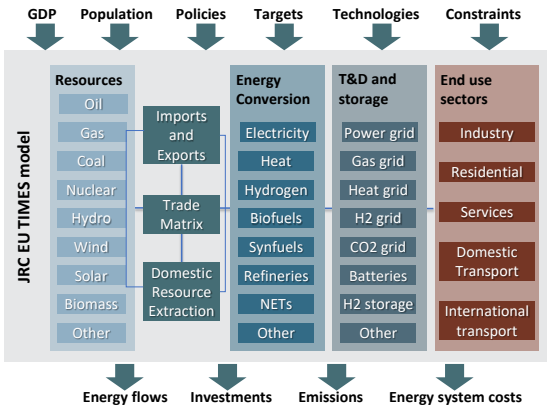
Interaction avec les voisins européens

Comme chacun sait, il est difficile de prédire l'avenir. Cela vaut également pour la question de savoir comment atteindre l'objectif de « zéro net » – et ce, à moindre coût. Afin de répondre à cette question, le PSI a développé un modèle de système énergétique (voir encadré p. 3) qui permet de modéliser différents scénarios concernant l'évolution future de la demande et de l'offre en énergie. Parmi les éléments pris en considération figuraient notamment les coûts des technologies, les prix de l'énergie, l'évolution économique et démographique, ainsi que la disponibilité des ressources. Le modèle est conçu de manière à prendre également en compte les efforts de décarbonation des états européens. Des chercheurs de l'Université du Pirée ont complété le modèle par une « analyse dynamique des trajectoires politiques adaptatives ». Cette appellation quelque peu complexe désigne un outil logiciel d'apprentissage automatique, lequel permet de comparer différents scénarios de développement tout en tenant compte des incertitudes liées à l'évolution future.

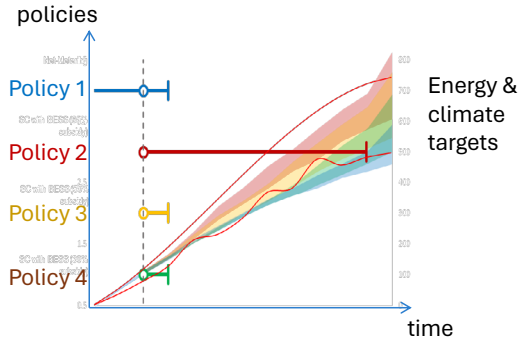
L'objectif de l'équipe chargée de l'étude PoliZero était d'ancrer autant que possible les projets d'avenir issus du monde

LES DEUX MODÈLES UTILISÉS DANS L'ÉTUDE POLIZERO

Modèle énergétique (JRC-EU-TIMES)



Analyse dynamique et adaptative des trajectoires politiques (AIM)



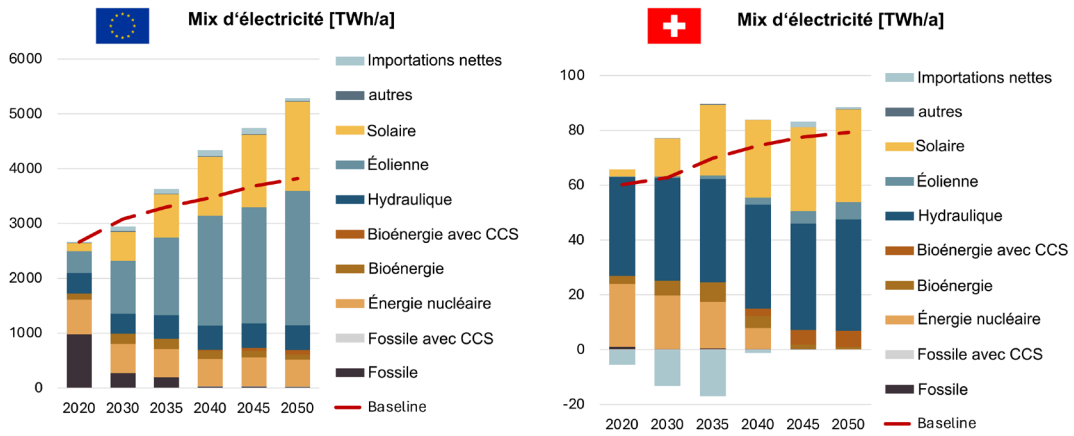
Graphique : rapport final PoliZero

Les conclusions présentées dans le texte principal ont été tirées par l'équipe de recherche PoliZero à partir de deux modèles :

• **Le modèle énergétique JRC-EU-TIMES** (voir graphique à gauche) représente, à l'aide d'environ 20 millions d'équations et de variables, les interactions complexes du système énergétique actuel et futur dans les pays européens et en Suisse. Il détermine une configuration optimale en termes de coûts pour ces systèmes énergétiques pour la période de 2020 à 2050 et au-delà. Ce modèle prend en compte divers directives et objectifs politiques, les évolutions technologiques, le potentiel des ressources énergétiques ainsi que des hypothèses économiques et démographiques. Sur cette base, il évalue les investissements dans les technologies de production et d'utilisation de l'énergie, les émissions et les coûts, ainsi que les flux des différents vecteurs énergétiques à travers l'ensemble des secteurs du système énergétique (extraction des matières premières, conversion de l'énergie, transport, distribution et stockage, ainsi que les secteurs de consommation finale).

• **L'analyse dynamique et adaptative des trajectoires politiques** (en anglais: Adaptive Policymaking Model/AIM; voir graphique à droite) est un outil d'apprentissage automatique. Il permet d'identifier le moment et la manière de mettre en œuvre différents paquets de mesures afin d'atteindre les objectifs énergétiques et climatiques malgré les incertitudes. Ces incertitudes concernent, par exemple, la croissance économique et démographique, le prix des carburants, la disponibilité des importations d'énergie, les coûts technologiques, le potentiel des ressources énergétiques ou les conditions météorologiques. PoliZero a pris 22 incertitudes en considération. Cet outil permet de déterminer les incertitudes particulièrement critiques pour le succès de la politique et celles à surveiller. Les chercheurs ont constaté que le niveau des prix de l'essence et du gaz était un facteur déterminant pour le succès de la stratégie zéro net. Il est cependant également pertinent, par exemple, de disposer d'un suivi permettant de montrer dans quelle mesure la bioénergie nationale exploite réellement le potentiel de durabilité disponible.

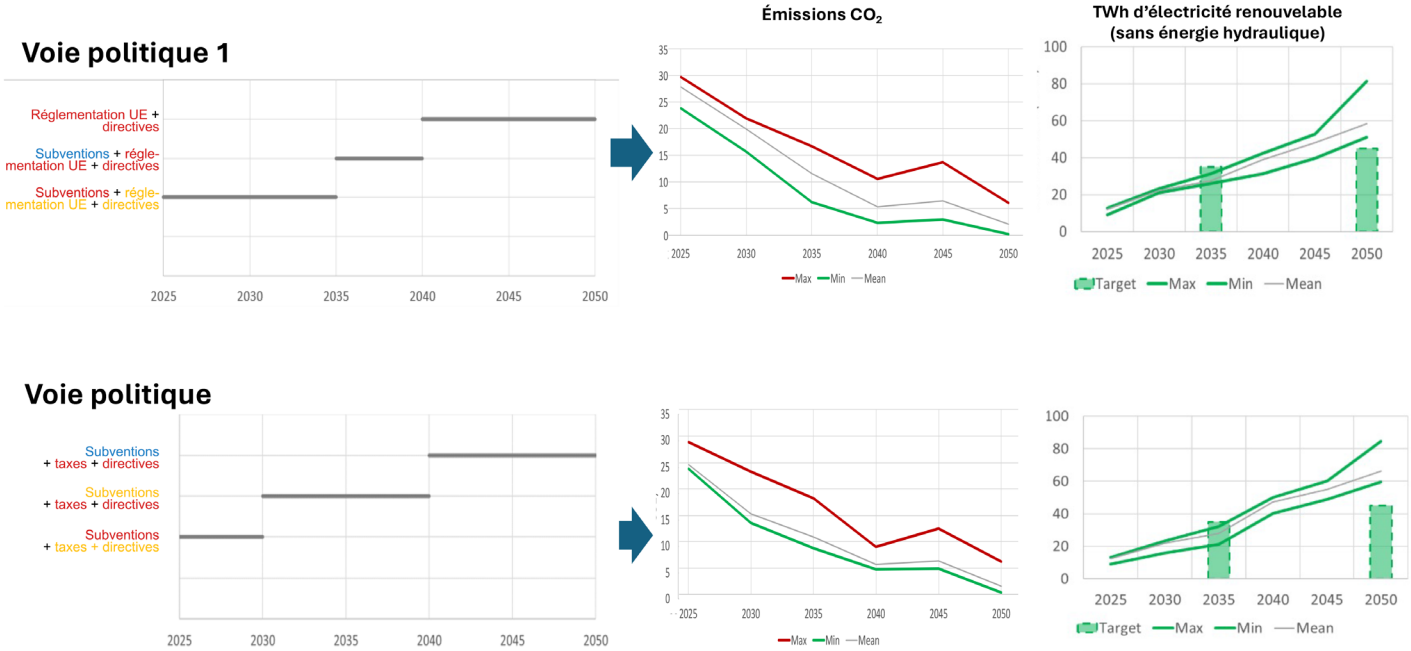
universitaire dans la réalité de la politique énergétique suisse. À cette fin, un atelier a rassemblé 21 parties prenantes issues des milieux scientifique, économique et politique, afin qu'elles puissent exposer leurs priorités et préoccupations en matière de politique énergétique. Y ont participé des entreprises énergétiques, l'administration et diverses associations (industrie du ciment, organisations environnementales et énergétiques, secteur agricole, industrie gazière, commerce automobile). Afin d'approfondir l'analyse des parties prenantes, les chercheurs ont également examiné les positions de 250 associations sur la politique énergétique en analysant le contenu de leurs réponses à des consultations sur des projets énergétiques grâce au traitement automatique du langage naturel (Natural Language Processing).



Mix énergétique en cas de mise en œuvre du Green Deal de l'UE et de la stratégie énergétique et climatique suisse. La ligne rouge correspond au scénario de référence, lequel table sur une poursuite des tendances et des politiques actuelles (état en 2024) et fait office de référence. Elle indique que les deux piliers principaux de l'approvisionnement en électricité à partir de 2040 seront l'énergie hydraulique et le photovoltaïque. Là où la Suisse produira de l'électricité à partir de bioénergie après 2040, le captage du CO_2 sera utilisé. Graphique: rapport final PoliZero

Une transformation audacieuse du système énergétique

Un résultat – guère surprenant – de l'étude : pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050, il est nécessaire de poser les jalons pour un approvisionnement énergétique sans combustibles fossiles pour les bâtiments, les transports et l'industrie d'ici 2035. Les simulations de l'équipe PoliZero illustrent concrètement les mesures à prendre au cours de la prochaine décennie pour que la Suisse ait une réelle chance d'atteindre son objectif d'ici 2050 : la puissance photovoltaïque installée devra être multipliée par trois et la consommation d'énergie réduite de 15%. Le chauffage à distance devra être développé de façon à fournir 10% des besoins en chaleur des bâtiments d'ici 2035, contre 7% actuellement. Les véhicules



Bleu : mesures à faible intensité
Jaune : mesures à moyenne intensité
Rouge : mesures à haute intensité

L'écart entre min. et max. résulte des incertitudes liées à la croissance économique et démographique, aux prix des combustibles et des carburants, à la disponibilité des importations, au potentiel des ressources, aux coûts technologiques, etc.

Selon PoliZero, deux voies politiques mèneront au zéro net en Suisse avec une probabilité d'au moins 75%. La première commence par des subventions élevées pour les technologies énergétiques propres et une intensité modérée dans le système d'échange de quotas d'émission de l'UE (EU ETS), dans l'ETS 2 et dans les normes applicables aux véhicules, avant de passer à une tarification plus élevée du CO_2 et à des normes d'efficacité et d'émissions plus strictes. La deuxième commence également par des subventions élevées, mais s'appuie ensuite sur des taxes sur le CO_2 plus élevées et des normes plus strictes, sans dépendre des instruments contrôlés par l'UE. Graphique: rapport final PoliZero



Selon l'étude PoliZero, environ 25 TWh de carburants synthétiques seront nécessaires d'ici 2050 pour décarboniser l'aviation suisse. Photo: B. Vogel

à moteur thermique devront systématiquement être remplacés par des véhicules électriques, et les chauffages fonctionnant aux énergies fossiles par des pompes à chaleur.

Et que devra-t-il se passer ensuite, c'est-à-dire de 2035 à 2050? Le projet PoliZero indique que des mesures, parfois associées à des défis techniques ou financiers, ou ne jouissant pas encore d'une large acceptation auprès de la population, s'imposeront : au cours de cette période, 12 TWh d'énergie éolienne et de bioénergie devront être ajoutés (2024 : 3,4 TWh). La moitié de cette énergie devra être disponible en hiver, afin que la Suisse ne dépende pas des importations d'énergie pendant cette période. Pour décarboner au moins partiellement le chauffage urbain, un tiers de celui-ci devrait provenir de grandes pompes à chaleur utilisant, par exemple, l'eau des lacs comme source de chaleur. Pour compenser les émissions de CO_2 des installations de valorisation des déchets ou de l'industrie du ciment, il faudra mettre en place un captage de CO_2 de l'ordre de 6 à 10 millions de tonnes par an. D'ici 2050, l'aviation aura besoin d'environ 25 TWh de carburants synthétiques, produits soit à partir de biomasse, soit à partir d'électricité renouvelable (carburants électriques). Environ 6 TWh d'hydrogène seront nécessaires pour les processus industriels.

Sans électricité nucléaire ni solaire alpin

Dans cette perspective sur l'avenir énergétique de la Suisse, les scientifiques de PoliZero partent de plusieurs hypothèses politiquement controversées. Elles supposent, par exemple, que l'utilisation de l'énergie nucléaire prendra fin en 2044 avec l'arrêt de la centrale nucléaire de Leibstadt après 60 années d'exploitation. Les scientifiques s'appuient sur la législation en vigueur qui interdit la construction de nouvelles centrales nucléaires. Une autre hypothèse concerne les installations solaires alpines. Elles n'ont pas été intégrées à l'étude, dont les hypothèses de base remontent à 2020. À ce sujet, Panos, le responsable de l'étude, déclare : « Nous estimons qu'au vu des contraintes environnementales et de planification actuelles, environ 2 TWh par an sont de manière réaliste exploitables. Le potentiel technique peut toutefois dépasser 10 TWh selon le choix du site, l'acceptation par la population et les contraintes environnementales en vigueur. Dans les conditions actuelles, l'énergie solaire alpine apporte ainsi une contribution précieuse, mais elle ne constitue pas un facteur déterminant pour combler le déficit d'électricité en hiver. »

Les auteures et auteurs de l'étude PoliZero formulent également des recommandations quant aux instruments que la politique devrait utiliser pour mettre en œuvre des mesures

de décarbonation. Meixi Zhang, chercheuse au sein du groupe Économie énergétique du PSI, qui a largement contribué à la rédaction de cette étude dans le cadre de sa thèse de doctorat, s'exprime ainsi: « Les mesures d'encouragement donnent des impulsions importantes dans les premières phases de la mise en œuvre. Les modèles suggèrent toutefois qu'après 2035, des instruments supplémentaires seraient nécessaires pour envoyer des signaux de marché à long terme. » Selon l'étude, ces instruments comptent un commerce des droits d'émission plus intense avec une couverture plus large des secteurs, des exigences légales telles que le remplacement obligatoire des systèmes de chauffage fossiles, ainsi que des règles ciblées pour l'exportation et l'utilisation du CO_2.

S'orienter vers le Green Deal

Les chercheuses et chercheurs recommandent d'orienter la politique de neutralité carbone de la Suisse vers le Green Deal de l'UE, le paquet de mesures de l'Union européenne visant à atteindre la neutralité climatique d'ici 2050. Selon leur estimation, un alignement sur la politique de l'UE offre une plus grande sécurité en matière de réduction des émissions, en particulier après 2035. Les chercheurs plaident en faveur d'une intégration étroite de la Suisse dans le système européen d'échange de quotas d'émission, car celui-ci garantit des réductions d'émissions indépendamment des variations de prix, grâce à un plafond fixe pour les émissions de gaz à effet de serre. L'alignement sur l'UE apporte en outre des avantages supplémentaires grâce à l'intégration transfrontalière des marchés et à une infrastructure coordonnée. Afin d'obtenir des réductions efficaces des émissions, l'équipe chargée de l'étude PoliZero demande également des mesures crédibles au niveau national, c'est-à-dire un ensemble judicieusement combiné de différents instruments politiques.

« Cette étude ne pourra pas être mise en œuvre telle quelle, mais elle donne une idée de l'ampleur de la tâche à accomplir pour atteindre l'objectif de zéro net. Elle montre également qu'en principe, une approche rapide et cohérente rendrait cet objectif réalisable », affirme Anne-Kathrin Faust, responsable du programme « Énergie – Économie – Société » de l'OFEN. Cette étude devrait susciter un vif intérêt auprès de la communauté scientifique suisse spécialisée dans le domaine de l'énergie. En effet, dans le cadre de PoliZero, un outil logiciel a été développé pour modéliser l'avenir énergétique, incluant non seulement la Suisse mais aussi les États de l'UE. Il s'agit d'une approche inédite jusqu'à présent.

- Le **rapport final** du projet « Swiss Policy towards Zero CO_2 Emissions compatible with European Decarbonisation Pathways » (PoliZero) est disponible sur : https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=47515
- Pour toute **information**, veuillez contacter Anne-Kathrin Faust (anne-kathrin.faust@bfe.admin.ch), responsable du programme de recherche de l'OFEN « Énergie – Économie – Société ».
- Vous trouverez plus d'**articles spécialisés** sur les projets de recherche, les projets pilotes, les projets de démonstration et les projets phares du programme de recherche EES de l'OFEN ici.

Auteur : Benedikt Vogel, sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN)
Version : mai 2026