



MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE

Liberté  
Égalité  
Fraternité



# Ti TAN

## RENFORCER L'ANALYSE ÉCONOMIQUE POUR RÉUSSIR LA TRANSITION CLIMATIQUE

C'est un nouveau modèle technico-économique : TiTAN (trajectoires optimisées des technologies d'abattement pour la neutralité carbone) dédié à l'analyse socio-économique de la transition bas-carbone. Il éclairera des choix stratégiques à l'heure de la préparation de la loi de programmation quinquennale, prévue pour juillet 2023, puis de l'élaboration de la future Stratégie nationale bas-carbone, programmée en 2024.

Produit d'une initiative conjointe du Commissariat général au développement durable (CGDD), de la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) et de France Stratégie (FS), il est aussi destiné à tous les acteurs privés de la transition climatique (entreprises, think tanks, ONG). Il sera disponible en libre accès (*open source*).

L'outil TiTAN repose sur un modèle systémique. Il décrit l'articulation de toutes les options pour décarboner l'économie. Il permettra d'éclairer notamment les choix d'investissements et de rendre compte des enjeux économiques correspondants. En documentant le débat technique autour de la transition bas-carbone, il devrait contribuer à la faciliter.

## HISTORIQUE DU PROJET

TITAN a été développé progressivement au CGDD. Un premier modèle dit D-CAM avait été réalisé en 2015 et avait fait l'objet d'une publication « *Théma* » (2016) dans la collection du CGDD (voir « *Pour en savoir plus* »).

Depuis les travaux se sont poursuivis pour objectiver et clarifier la structure des coûts en distinguant rigoureusement les dépenses d'investissements (Capex) des flux associés à l'utilisation des équipements (Opex). Les synergies ou relations de compétition entre les options technologiques ont également été explicitées. La notion de coûts d'abattement a été clarifiée.

En 2018, des travaux complémentaires sur le secteur des transports ont démontré la faisabilité du projet sur cette base renouvelée. Le projet actuel, qui couvre l'ensemble des secteurs, a été lancé en 2019 et est en cours de finalisation.



## QUEL EST L'INTÉRÊT DE LA MODÉLISATION TECHNICO-ÉCONOMIQUE ?

Le recours à des modèles est incontournable pour comprendre l'économie bas-carbone, comparer les options qui permettent d'envisager la neutralité carbone, chiffrer leurs coûts, estimer leurs temps de retour sur investissement...

Le modèle TiTAN appartient à la famille des modèles dits « technico-économiques ». Il est purement *bottom-up*, c'est-à-dire qu'il adopte une approche ascendante en opérant une synthèse à partir des divers secteurs de l'économie (énergie, bâtiment, industrie, transport et les terres). Il se concentre sur le descriptif des technologies mobilisables.

« La modélisation prospective est un outil incontournable pour la DGEC et les stratégies nationales climat-air-énergie qu'elle pilote. TiTAN pourra utilement éclairer l'élaboration de nos prochains scénarios dans le cadre de la révision de la stratégie française sur l'énergie et le climat. »  
La Direction générale de l'énergie et du climat

### Des modèles plus accessibles pour les utilisateurs

Les modèles technico-économiques ont plusieurs atouts : la simplicité, la clarté et une approche systémique qui permet d'englober toutes les interactions et leurs impacts sur l'économie. Ainsi, le choix des technologies est déterminé par leur coût, leur efficacité et leurs besoins en ressources et en infrastructures. Quelques équations suffisent à structurer de façon cohérente l'emboîtement des technologies en amont et en aval, là où d'autres types de modèles en mobilisent couramment des milliers, notamment pour représenter le comportement des acteurs économiques. Les trajectoires qui

en résultent sont explicites en termes de consommations énergétiques comme d'émissions de gaz à effet de serre, de sous-jacents physiques (parcs de véhicules, de bâtiments, usage des terres...), de niveau de services (logement, transport...), d'investissements et de coûts de fonctionnement.. Les calculs économiques opérés, comme le coût d'une tonne de carbone évitée, sont concrets et clairs. Ils ne requièrent pas d'expertise économique particulière pour être interprétés. Ainsi ces modèles sont accessibles au plus grand nombre d'acteurs.

### Des modèles pour mieux comprendre les enjeux technico-économiques

Ces modèles sont de nature à éclairer les débats techniques en objectivant une vision de la transition cohérente et précisément quantifiée. Ils se prêtent au partage de la compréhension des enjeux technico-économiques de la transition climatique. En revanche, ils ne cherchent pas à représenter le comportement des acteurs économiques, ni les grands

équilibres macroéconomiques (travail, finances publiques...) : ils n'ont pas vocation à modéliser l'économie dans son ensemble, ni à fournir des prévisions de court-terme. Mais leur autonomie à l'égard du contexte économique les rend pertinents sur le long terme, car ils permettent d'envisager des scénarios de ruptures au regard de pratiques actuelles.



## QUELQUES EXEMPLES DE QUESTIONS QUE TITAN POURRA ÉCLAIRER

Le principe général est d'évaluer le socle des coûts techniques nécessaires à la transition bas-carbone et de l'analyser :

- quels investissements et coûts de fonctionnement nécessite cette transition, pour des cibles d'émissions données à différents horizons ? Pourquoi et comment la répartir de façon optimale dans le temps ?
- dans quelle mesure ces éléments sont-ils sensibles à certains choix de court terme ou bien aux coûts futurs de certaines technologies clé ?

L'outil est particulièrement adapté à l'analyse des effets intersectoriels (industrie, énergie, bâtiments, etc.). Il permettra en particulier d'établir des trajectoires montrant que les « efforts marginaux » des différents secteurs sont en adéquation pour répondre à une contrainte globale nationale en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Il aidera ainsi à répondre à différentes problématiques :

- la répartition de l'effort est-elle optimale entre les différentes filières d'un secteur donné (l'industrie par exemple) ? Si l'on choisissait de réduire l'effort de l'un des secteurs (l'isolation des bâtiments par exemple), quels efforts additionnels faudrait-il demander à chacun des autres (le transport par exemple) pour se conformer à la même contrainte carbone *in fine* ?
- la répartition de l'effort est-elle équilibrée entre sobriété et efficacité énergétique d'une part et décarbonation des vecteurs énergétiques (électricité, gaz, combustible liquide...) d'autre part ?

Toujours sur le plan intersectoriel, TITAN permettra également de répondre sur des aspects précis :

- dans quelle mesure le coût marginal des ressources en biomasse influencera-t-il le coût marginal de l'électricité à long terme ?
- dans quelle mesure le potentiel de CCS (capture et stockage du carbone) à long terme impacte-t-il la tension sur la disponibilité de l'ensemble des autres ressources, comme l'usage des sols par exemple.
- quelle est la place que peuvent prendre des technologies ou pratiques spécifiques de l'économie bas-carbone encore embryonnaires (CCS, hydrogène décarboné, stockage dans les sols...) ?

« Nous bénéficions d'une longue tradition d'analyses et d'outils visant à éclairer la transition écologique. Ce modèle technico-économique TITAN vient compléter la gamme sur la dimension intersectorielle de la transition bas-carbone, dans une perspective de moyen et long terme. »

Le Commissariat général au développement durable



## LES SPÉCIFICITÉS DU MODÈLE TITAN

Si beaucoup de modèles ou d'outils sont déjà disponibles, TiTAN se caractérise en particulier par :

- une approche transparente, avec une base de données des hypothèses initiales totalement à la main de l'utilisateur ;
- une approche résolument intersectorielle, sur le long terme, au prix de fortes simplifications, donc en complémentarité avec les modèles existants plus fins sur leurs secteurs « cœur de métier ». Il est ainsi choisi d'appréhender l'économie bas-carbone (nationale) dans toutes ses dimensions et de privilégier la rapidité d'exécution ;
- une approche centrée sur les émissions de gaz à effet de serre, laissant au second plan des problématiques connexes comme les effets sur l'emploi, la biodiversité, la qualité de l'air. Certains effets sur l'emploi et la qualité de l'air pourront être pris en compte dans des versions ultérieures. Concernant la biodiversité, le modèle sous-jacent ne prétend pas la décrire valablement, mais le modèle prend en compte explicitement certaines contraintes techniques ou économiques jugées nécessaires pour que la transition climatique soit cohérente avec une réduction de notre empreinte sur la nature ;
- une approche d'abord ciblée sur les émissions territoriales et nationales, excluant donc les calculs dits d'empreinte carbone, au moins dans une première version. L'intégration des émissions de la consommation pourra faire l'objet de développements ultérieurs, moyennant des hypothèses fortes sur l'évolution de la structure économique mondiale à long terme ;
- une approche portant sur le champ des possibles, en termes de trajectoires techniques, sans aborder les modalités de mise en œuvre de ces trajectoires. Ainsi, les mesures de politiques publiques pour promouvoir l'économie bas-carbone ne sont pas prises en considération : ce sont directement leurs effets attendus qui sont modélisés.

« Le débat sur les voies de la neutralité carbone vit de l'engagement et des convictions des parties en présence. Mais il requiert aussi des analyses technico-économiques solides et transparentes. C'est à ce défi que TiTAN entend contribuer avec tout notre soutien. »

France Stratégie

# COMMENT LE MODÈLE TITAN FONCTIONNE-T-IL ?

TiTAN présente une structure relativement simple et résolument ouverte, c'est un atout précieux pour en partager les résultats.

Il construit, compare et analyse des trajectoires technico-économiques de transition bas-carbone à long terme, à partir du jeu d'hypothèses formulées au départ.

L'outil, très intersectoriel, vise à mettre en lumière les relations entre plusieurs secteurs : production énergétique, bâtiment, transports, industrie, agriculture, forêt, ainsi que les changements d'usage des terres (figure 1).

## Structure intersectorielle de l'outil TiTAN

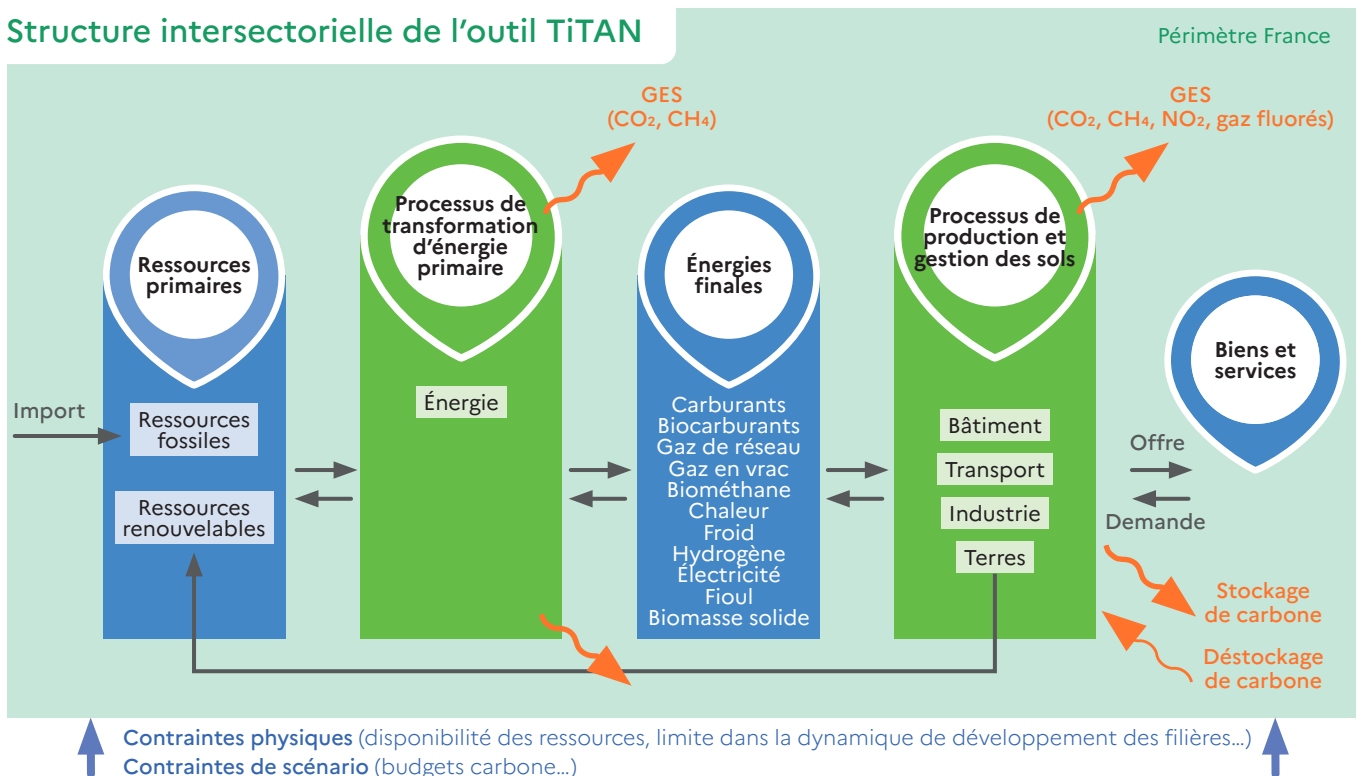


Figure 1 - Source : CGDD

L'outil est composé de différents modules (figure 2) :

- **Les tableurs de paramétrage** récapitulent les demandes en services à satisfaire (transport, logement, etc.), ainsi que les technologies disponibles à cette fin, leurs coûts (y compris celui de leurs infrastructures sous-jacentes comme les véhicules et les voies de communications pour les transports), leur efficacité, leurs émissions de gaz à effet de serre.
- **Le solveur** détermine une trajectoire dite optimum pour satisfaire la demande en minimisant les coûts, et en respectant la contrainte carbone fixée. Cette optimisation ne porte que sur les secteurs et parties qui s'y prêtent. Les autres sont paramétrés par l'utilisateur, notamment les secteurs agricoles et forestiers ou les hypothèses sur les comportements de consommation.
- **Le comparateur** confronte les scénarios deux à deux, notamment un scénario décarboné optimisé vis-à-vis du scénario correspondant qui serait optimum sans contrainte carbone : un **coût macro-économique de la décarbonation est ainsi estimé**. Seuls les coûts de l'atténuation du changement climatique sont pris en compte, et non les coûts de l'inaction, qui eux s'apprécient à l'échelle mondiale, via des approches spécifiques.

Le comparateur identifie les leviers qui ont contribué à la décarbonation. Il s'agit des différents facteurs qui contribuent à la décarbonation, comme la sobriété sur les usages (dans l'exemple des transports, moins se déplacer), un recours plus efficace à ces usages (le covoiturage), le report sur des technologies faiblement émettrices (les transports en commun), l'efficacité énergétique (la consommation énergétique aux 100 km), le report sur des énergies décarbonées (le véhicule électrique). Ces différents leviers sont analysés en termes de **réduction d'émissions**, de **coût moyen**, de **coût d'abattement moyen**.

Enfin, on désigne par **gisement** la variation d'émissions attribuables à chacun des leviers. On quantifie un gisement en observant l'écart de variation des émissions qu'il permet tout en tenant compte de la contribution concomitante des autres leviers à leurs gisements respectifs, pour éviter tout double-compte.

## Structure informatique de l'outil TITAN

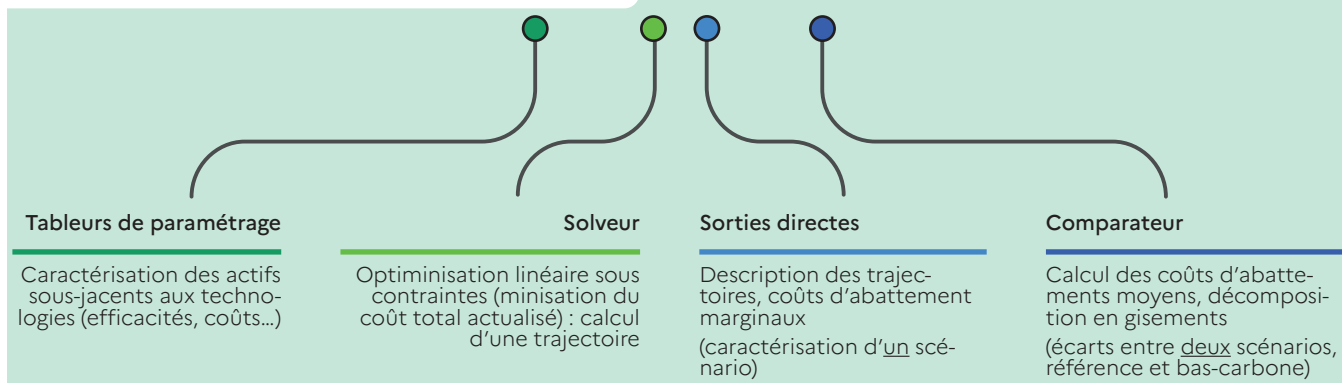


Figure 2 - Source : CGDD

Les résultats sont représentés sous forme graphique, par des « courbes en coin » dynamiques, qui illustrent la contribution, au fil du temps, des différents leviers à la baisse des émissions. À terme un coût d'abattement par gisement devrait pouvoir être calculé (figure 3).

## Courbe en coin : gisements de réduction d'émissions (exemple fictif)

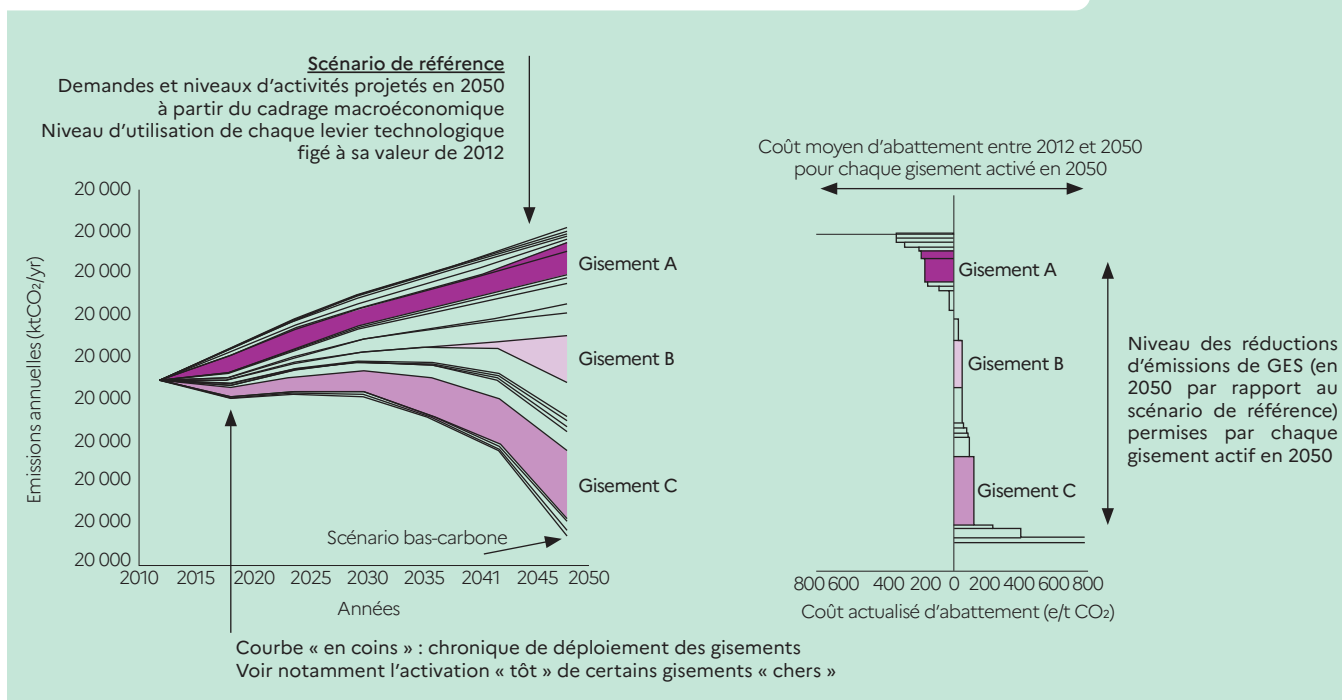


Figure 3 - Source : CGDD

Outre les coûts moyens, l'outil calcule différents coûts marginaux – par exemple ce que coûtent les dernières réductions de gaz à effet de serre obtenues, ou bien ce que coûte le dernier MWh d'électricité délivré – ce qui constitue des éléments très utiles au calcul socio-économique précis.



---

## Pour en savoir plus

Adrien Vogt-Schilb, Guy Meunier, Stéphane Hallegatte, « *Should marginal abatement costs differ across sectors? The effect of low-carbon capital accumulation* », 2013.

Baptiste Perissin Fabert et Alexis Foussard, « *Trajectoires de transition bas carbone au moindre coût* », Thema Analyse, CGDD, novembre 2016.

---



**MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**Commissariat général au développement durable**  
Service de l'économie verte et solidaire  
Sous-direction de l'économie et de l'évaluation  
Tour Séquoia – 92055 La Défense cedex  
Courriel : [diffusion.cgdd@developpement-durable.gouv.fr](mailto:diffusion.cgdd@developpement-durable.gouv.fr)

[www.ecologie.gouv.fr](http://www.ecologie.gouv.fr)