



**HAL**  
open science

# Economie de la transition bas carbone dans le secteur des Transports

Robert Benda

► **To cite this version:**

Robert Benda. Economie de la transition bas carbone dans le secteur des Transports : Refondation du modèle TiTAN. 2018. hal-01888602

**HAL Id: hal-01888602**

**<https://enpc.hal.science/hal-01888602>**

Submitted on 5 Oct 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Economie de la transition bas carbone dans le secteur des Transports

## Refondation du modèle TiTAN

*Rapport de mission professionnelle pour le master PAPDD, année universitaire 2017-2018. Pour le compte du Bureau de l'Economie des Biens Communs (ERNRI) du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD), Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (MTES).*

Robert BENDA

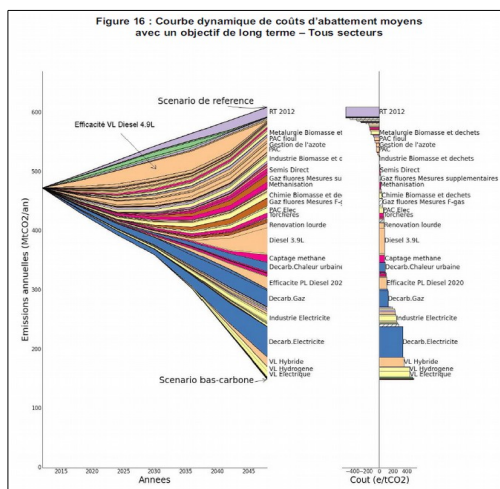
*Encadré par Monsieur Antonin Vergez, chef de bureau, et Stéphane Crémel, chargé de mission en Economie du Climat*

**La Loi de Transition Energétique pour la Croissance Verte (LTECV) de 2015 et le plan Climat de juillet 2017 fixent à la France des objectifs de décarbonation de son économie. Les modèles technico-économiques ont un rôle important à jouer dans la planification de cette transition, en explorant comment les technologies disponibles pourraient être déployées afin de diminuer l'intensité carbone de l'activité économique. Au sein d'un écosystème très riche de modèles de prospective énergie-climat, le modèle TiTAN se place comme un modèle simple à appréhender et à utiliser, transparent, permettant aux différentes parties prenantes de la transition bas carbone d'objectiver leur vision de l'avenir. Pour le ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, cet outil est l'occasion d'ouvrir et de cadrer la discussion autour de cette transition, grâce à une représentation de l'ensemble des leviers de décarbonation et une modularité permettant de générer rapidement des scénarios très contrastés. Nous présentons ici les développements réalisés dans le cadre de la refondation de ce modèle TiTAN (anciennement modèle D-CAM) appliquée au secteur des Transports, et détaillons le rôle qu'il pourrait jouer dans le débat autour de la transition bas carbone.**

**L**a LTECV de 2015 et le plan Climat de 2017 engagent la France sur une trajectoire de décarbonation de son économie, avec un objectif de neutralité carbone à horizon 2050. Des changements structureaux et durables semblent s'imposer, que ce soit dans l'industrie ou en ce qui concerne les modes de consommation ou comportements du quotidien. Ceux-ci sont détaillés dans la Stratégie Nationale Bas Carbone, en cours de révision, et qui constitue la feuille de route de la décarbonation de l'économie française. De multiples leviers sont disponibles pour diminuer l'intensité carbone de notre économie ; technologiques ou comportementaux. Plusieurs visions de la transition s'affrontent ainsi, entre ceux qui souhaitent mobiliser préférentielle-

ment des gisements de sobriété ou comportementaux, et d'autres qui leur préfèrent des leviers technologiques. L'objectif de neutralité impose au ministère de considérer l'ensemble des gisements et de s'appuyer sur une combinaison de ceux-ci. Afin d'organiser et de cadrer ce débat entre parties prenantes, orchestré par le ministère, un outil simple permettant d'objectiver les visions contrastées de l'avenir de chacun est nécessaire. Le modèle TiTAN, dans sa nouvelle version, tente de répondre à ce besoin de façon transparente, modulaire, et robuste, par l'association de nombreux indicateurs à une trajectoire donnée, en termes d'investissements, de dépenses et de parc d'actifs sous-jacents.

## La modélisation technico-économique au service de la planification de la transition vers une économie décarbonée



Le modèle TiTAN est un modèle technico-économique qui cherche le scénario de transition vers une économie bas carbone qui minimise le coût total actualisé sur la période considérée. L'ancienne version du modèle, intitulée D-CAM, avait notamment permis de pointer les risques de verrouillage technologique en cas d'horizon de décision trop court, ainsi

que l'importance d'associer une courbe de dynamique de déploiement des différents gisements aux traditionnelles courbes « MACC » des coûts d'abattement moyens croissants des gisements mobilisables. Cependant, du fait de la simplicité des variables choisies pour l'optimisation, et d'une base de données des technologies non aboutie, les résultats issus du modèle D-CAM manquaient parfois de réalisme physique ou économique, et se limitaient à un usage plutôt exploratoire et difficilement normatif ou participatif. Afin de valoriser l'idée initiale de ce modèle, qui constituait à répertorier des gisements pour chaque secteur économique et d'estimer leurs potentiels et vitesses de déploiement, une refondation de l'outil lui-même (code informatique) et de la base de données d'entrée a été amorcée, en appliquant la nouvelle méthodologie proposée au secteur des Transports.

Légende : Courbe D-CAM extraite de la publication de novembre 2016 (1).

### Implémentation d'une nouvelle version plus modulaire et transparente du modèle TiTAN, appliquée au secteur des Transports

La description des actifs sous-jacents à l'activité économique (véhicules et infrastructures) a été rajoutée par rapport à l'ancien modèle, d'une part afin de gagner en réalisme physique, et d'autre part afin d'être plus à même de répondre aux diverses interrogations des parties prenantes sur les sous-jacents et indicateurs physiques associés à un scénario d'évolution de l'activité. Une base de données d'entrée centrée sur les technologies disponibles, et non plus sur les gisements, a été créée ; les gisements éligibles se déduisant de l'ensemble des technologies et modes répertoriés (substitutions et report entre technologies, ou amélioration des technologies). Le jeu de paramètres caractérisant les technologies se veut consensuel : la durée de vie des véhicules, le taux de remplissage moyen, le kilométrage moyen y sont par exemple répertoriés et projetés à horizon 2050. Si les valeurs numériques adoptées ne font pas nécessairement consensus, la certitude que ces paramètres sont bien les grandeurs cruciales dans la description du secteur des transports et les

déterminants de son évolution semble partagée. De même pour la structure modale de la demande de mobilité, scindée en deux arbres de demande courte et longue distances permettant de retrouver l'ensemble de gisements éligibles, pouvant être mobilisés entre deux scénarios particuliers. La visibilité apportée à cette base de données d'entrée, qui conditionne tous les résultats en sortie, a pour but de la partager avec les différentes parties prenantes, la rendant ainsi transparente mais aussi en espérant l'améliorer par les contributions des uns et des autres et une démarche participative. De même, le code (language Python) du modèle a été rendu modulaire par souci de pérennité, et transposable à moindre coût à la simulation de la transition des autres secteurs de l'économie, dans une visée, à terme, multi-sectorielle.

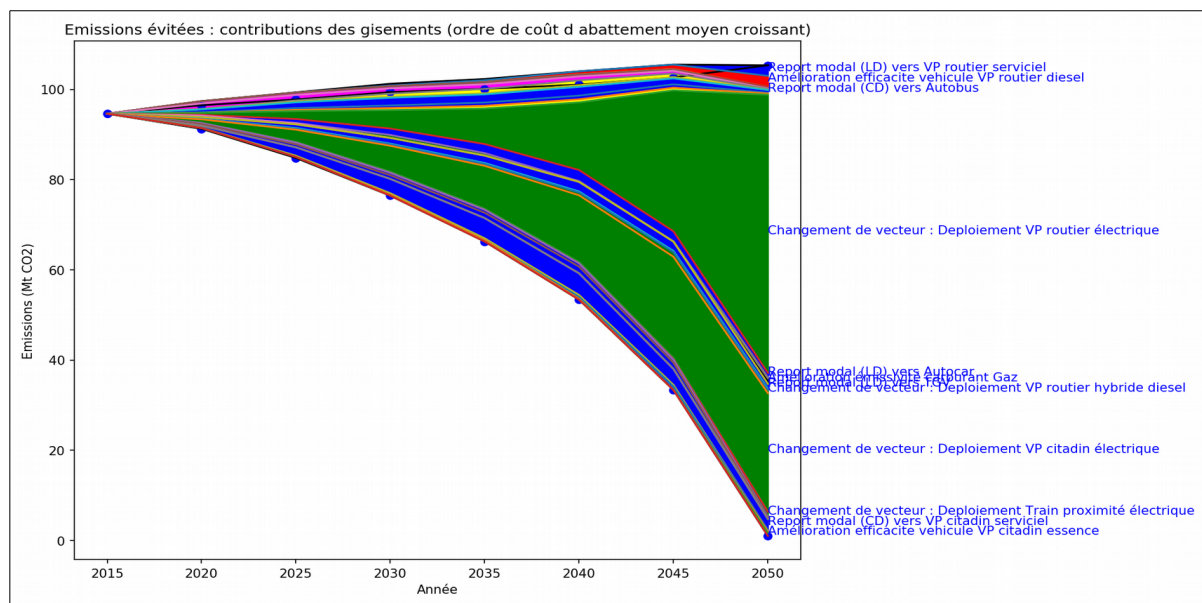
On illustre ainsi la modularité de ce nouvel outil, permettant à moindre coût de comparer des visions diverses de l'avenir, pour des instruments (mesures réglementaires d'interdiction de vente de certains

véhicules) ou objectifs (« budget » carbone ou points de passage ?) de politiques publiques variés .

### La bonne atteinte ou non des objectifs de réduction d'émissions de gaz à effet de serre selon le seuil imposé et les gisements que l'on autorise à mobiliser

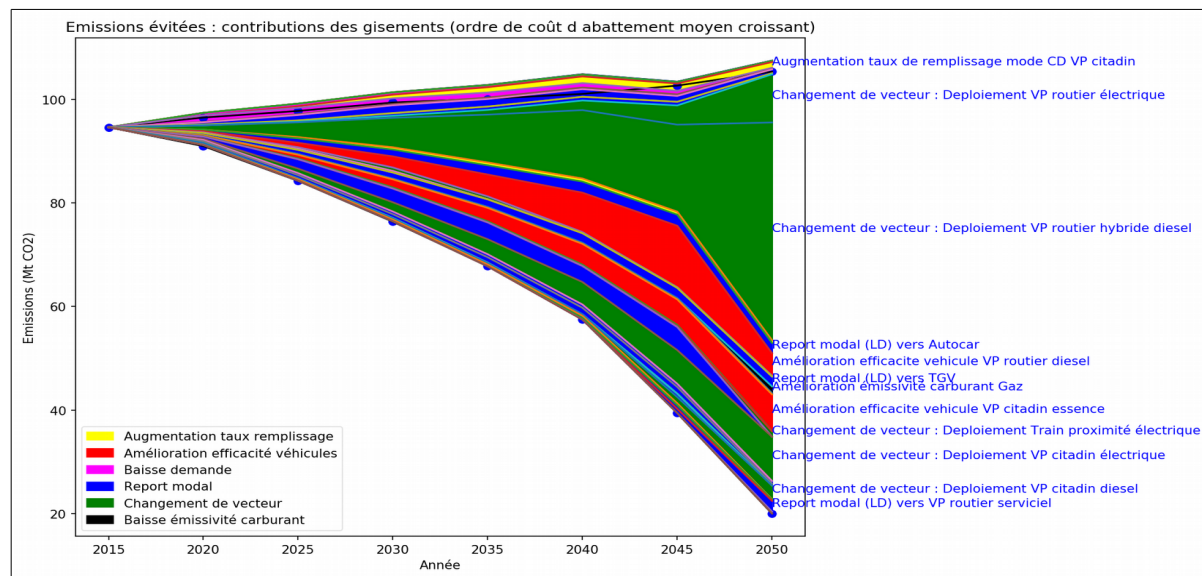
La nouvelle version de l'outil TiTAN permet de tester simplement des scénarios très contrastés. Ainsi, il est possible de comparer un scénario de référence, correspondant à une évolution de la structure modale plutôt conservatrice, optimisé en coût mais sans contrainte sur ses émissions de CO<sub>2</sub>, à un scénario dit « Bas Carbone », optimisé en coût, associé à une vision de l'évolution de la structure modale plus optimiste, et devant respecter une contrainte

d'émissions. On peut tout d'abord choisir de ne pas limiter le déploiement des motorisations électriques parmi les modes associés aux voitures (figure ci-dessous). Ce sont ainsi des gisements de changement de vecteur (*i.e.* de changement de type de motorisation ; de carburant) qui sont les principales sources d'émissions évitées entre le scénario référence et le scénario Bas Carbone, qui respecte une contrainte de quasi-neutralité en 2050 (1 Mt CO<sub>2</sub>).

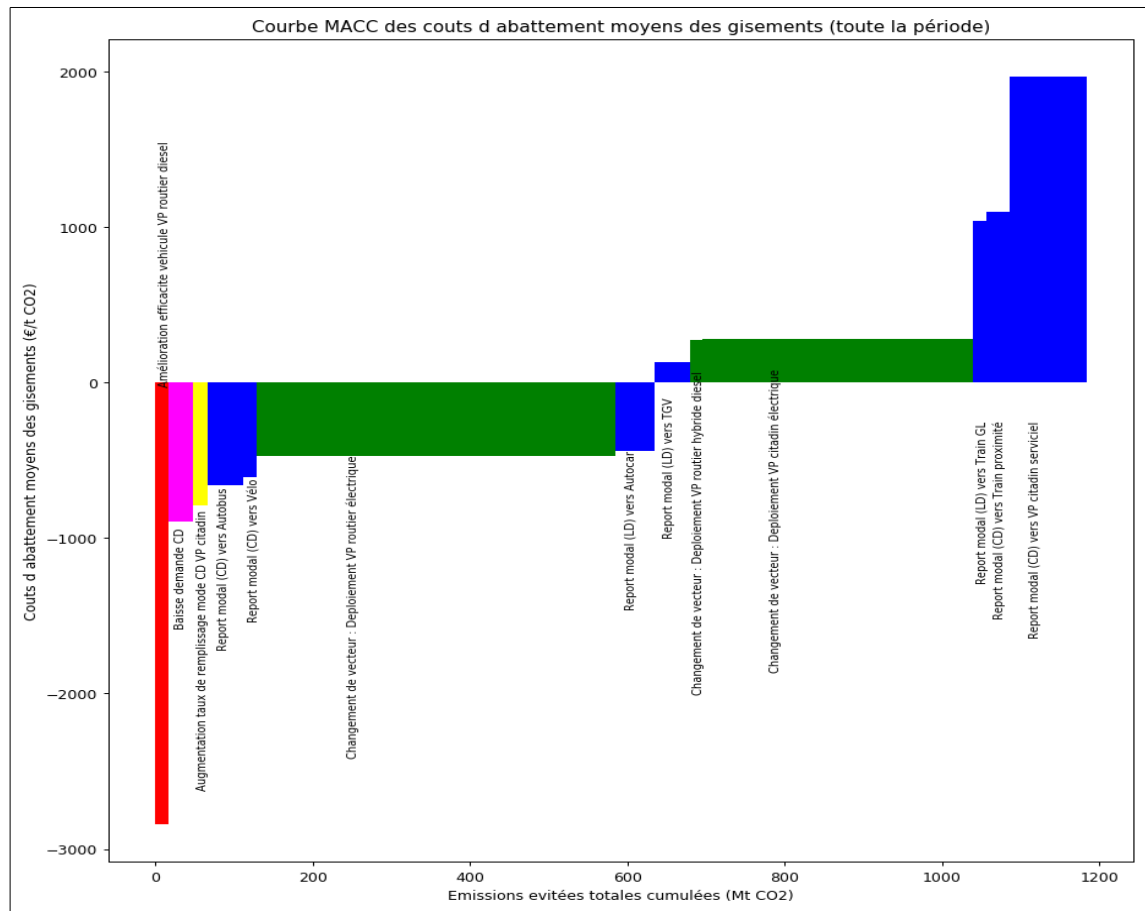


Par contre, lorsqu'on limite le déploiement des motorisations électriques dans une vision donnée de l'avenir, le scénario Bas Carbone ne peut plus respecter la contrainte de 1 Mt CO<sub>2</sub> : on doit revoir à la baisse les objectifs de réduction de gaz à effet de

serre, par exemple à 20 Mt CO<sub>2</sub> seulement (voir ci-dessous). Les principaux gisements mobilisés sont cette fois d'une autre nature : de type efficacité énergétique (en rouge) et changement de vecteur vers des motorisations hybrides diesel.



## Clarification de la signification des coûts d'abattement des gisements de réduction d'émissions



Histogramme des coûts d'abattement moyens des différents gisements associés à la comparaison du scénario Référence et du scénario Bas Carbone avec contrainte d'émissions à 1 Mt CO<sub>2</sub> en 2050

Le débat sur les coûts d'abattement des différents gisements ayant mis en lumière un manque de compréhension et de transparence de cette notion, une nouvelle méthodologie de calcul a été proposée, basée sur le calcul des surcoûts évités et émissions évitées par un gisement donné, grâce à la méthode LMDI et conformément à une vision de « l'arbre » de demande où les nœuds voisins correspondent à des technologies ou modes substituables. Ainsi, il a été montré que les coûts d'abattement sont intrinsèquement liés à une comparaison donnée de deux scénarios, et donc à une certaine vision de l'avenir (et de la structure de la demande). Leurs valeurs peuvent se décomposer en composantes dues aux coûts d'investissements dans les véhicules (CAPEX véhicules), dans les infrastructures (CAPEX infra-

structures), aux coûts d'entretien (OPEX), ou dues aux coûts des carburants. Ainsi, une traçabilité complète de l'origine de ces coûts d'abattement et des paramètres d'entrée (susceptibles d'être incertains) principaux qui influent sur leurs valeurs est proposée. Il s'agit ainsi d'exploiter au mieux l'ensemble des degrés de liberté de ce modèle, sans sur-estimer la validité de ses conclusions, totalement tributaires de la qualité des données d'entrée. Une réflexion sur l'utilisation à bon escient de ce modèle et de ses sorties principales ; en l'occurrence les émissions évitées entre deux scénarios et les coûts d'abattement des gisements associés, mais aussi les indicateurs multiples associés à un scénario donné (évolution du parc d'actifs sous-jacents, de la consommation d'énergie moyenne, chroniques d'investissements), est effectuée. Les limites de ce modèle dans la perspective de la planification de long terme de la transition bas carbone sont également abordées.

## Conclusion

Ainsi, cette refondation du modèle TiTAN a permis d'étoffer les visions de l'avenir du secteur des transports générées par cet outil. Une modularité à la fois de la base de donnée d'entrée et du code Python du modèle a été pensée, dans un souci de pérennité du modèle. Les actifs sous-jacents et les investissements associés sont désormais tracés, tandis que les coûts d'abattement associés aux différents gisements sont plus transparents et à associer à un arbre de demande et une vision détaillée de l'avenir. Nous avons validé sur le secteur des transports une nouvelle méthodologie transparente qui permettra d'aborder la question d'usages plus normatifs et participatifs du modèle. La nouvelle version a été conçue avec la volonté de toujours garder à l'esprit comment sont calculées et d'où sont issues les valeurs en sortie du modèle, démarche qui semble indispensable à l'utilisation de tout modèle au service de la décision. L'harmonisation de la méthode de calcul des coûts d'abattement pour tous les secteurs de l'économie (lorsque TiTAN sera appliqué aux autres secteurs que les transports) est nouvelle et apportera une contribution majeure à la planification stratégique des changements structuraux de toute l'économie, permettant notamment de visualiser les interactions et conflits de ressources clés entre secteurs.

Le modèle TiTAN constitue ainsi un outil simple d'aide à la décision, en donnant une mesure du retour sur investissement, en gaz à effet de serre évités, via les valeurs de coûts d'abattement ; et en documentant par divers indicateurs les deux scénarios comparés liés à ces valeurs de coûts d'abattement. Ces coûts sont intrinsèquement liés à la comparaison de deux scénarios particuliers et sont donc tri-

butaires d'un contexte et d'une vision sous-jacente particulière, qui doivent toujours être précisées lors de divulgation de valeurs de coûts d'abattement. Ils ne constituent évidemment pas l'unique critère de décision final : ces valeurs de coûts d'abattement sont un élément de décision à considérer au milieu de multiples autres : co-bénéfices à prendre en compte (impacts en termes de polluants atmosphériques, empreinte matière), faisabilité technique, politique, risques économiques dans une économie mondialisée. TiTAN peut aussi devenir un outil de discussion autour de la transition.

Comme perspectives intéressantes à adjoindre à la modélisation actuelle, on peut évoquer la possibilité d'un raisonnement en empreinte, qui ne compterait non plus les émissions émises seulement sur le territoire national mais aussi dans les pays ayant fabriqué les produits importés et utilisés en France. Il s'agirait ainsi de calculer les émissions non plus uniquement à partir des volumes de carburants consommés sur le territoire national pour l'activité y ayant lieu, mais également proportionnellement au nombre de voitures achetées, pour lesquelles on aurait documenté les émissions associées à leur fabrication hors du territoire français. Enfin, on pourrait également envisager de contraindre conjointement les émissions de GES et les quantités de particules fines émises. Ces deux perspectives seraient une façon de s'assurer que la décarbonation de l'économie ne s'effectue pas en contradiction avec l'objectif mondial de réduction des émissions, d'une part, et avec l'objectif plus local d'amélioration de la qualité de l'air ; l'un des co-bénéfices qui doit être considéré et encouragé.

## Bibliographie

Trajectoires de transition bas carbone au moindre coût , Septembre 2016, Baptiste Perrissin-Fabert, Alexis Foussard (CGDD, SEEIDD).

Vogt-Schilb A., Hallegatte S., When starting with the most expensive option makes sense. Use and misuse of marginal abatement cost curves, World Bank Policy Research Working Paper Series, Vol. 1 (2011).

Vogt-Schilb A., Hallegatte S., Marginal abatement cost curves and the optimal timing of mitigation measures. Energy Policy, 66, 645-653 (2014).

Deep decarbonization pathways project, IDDRI (Novembre 2017).