

# Résumé exécutif

---

## 1. Contexte général

Ce projet mené au Centre d'Etudes Economiques et Sociales de l'Environnement (CEESE) de l'Université Libre de Bruxelles s'inscrit dans le cadre général de l'aide à la prise de décision en matière de lutte contre la pollution photochimique dans les zones urbaines et péri-urbaines.

Compte tenu de la nature particulière de l'ozone troposphérique – polluant secondaire formé à partir de précurseurs tels que les oxydes d'azote et les composés organiques volatils –, de la complexité des réactions chimiques participant à sa formation et à sa destruction et du nombre de sources polluantes impliquées, la définition de stratégies de lutte contre la pollution photochimique n'est pas aisée et requiert le développement d'outils adéquats souvent lourds à mettre en oeuvre.

Les mesures mises en oeuvre pour le contrôle de la pollution photochimique sont souvent correctives et portent sur le court terme. Elles consistent en une diminution des pics de pollution par une limitation drastique du trafic dans les zones urbaines. Les mesures de long terme sont actuellement encore faiblement développées.

Parmi les mesures susceptibles d'améliorer la situation à long terme, la promotion des véhicules électriques et hybrides qui n'émettent que très peu ou pas de polluants précurseurs d'ozone constitue une solution préventive potentielle.

## 2. Principaux objectifs

L'objectif principal de ce projet est d'éclairer la définition de stratégies de lutte contre la pollution photochimique, en analysant spécifiquement une mesure de type technologique consistant en l'introduction de véhicules électriques ou hybrides dans la Région de Bruxelles-Capitale.

Un objectif plus général de l'étude menée concerne le développement d'un outil d'aide à la prise de décision susceptible d'aider les décideurs en terme de lutte contre la pollution photochimique. Un accent particulier a donc été porté aux développements méthodologiques nécessaires pour aborder sérieusement cette problématique.

Dans cette perspective, l'étude menée s'est développée suivant un volet économique, d'une part, et un volet environnemental, d'autre part, de façon à pouvoir mettre en balance ces deux aspects importants de l'évaluation de nouvelles technologies de transport.

Concernant le volet économique, compte tenu des données disponibles au moment de cette étude, seuls les véhicules purement électriques ont pu faire l'objet d'une analyse économique détaillée. Dans le cadre de cette analyse, les coûts d'utilisation propres aux véhicules électriques ont tout d'abord été évalués et comparés avec ceux de leurs homologues thermiques. Les coûts de mise en oeuvre de divers scénarios d'intégration de ces véhicules en Région de Bruxelles-Capitale ont ensuite été évalués.

Dans le cadre du volet environnemental, nous situons dans un premier temps l'apport potentiel des véhicules électriques et hybrides dans le contexte général de l'évolution des émissions du trafic routier en Région de Bruxelles-Capitale depuis 10 ans. Dans ce but, les émissions des véhicules électriques et hybrides sont tout d'abord comparées à celles de leurs homologues thermiques. Les effets de différents scénarios d'introduction de ces véhicules dans la Région sont ensuite évalués en termes de réduction des émissions de polluants atmosphériques. Dans un second temps, la méthodologie développée pour l'évaluation de la pollution photochimique et son application pour l'évaluation de différentes stratégies générales de réduction sont

présentées. Les effets potentiels de l'introduction de véhicules électriques dans la Région sont également évalués.

### 3. Analyse des aspects économiques

Cette partie de l'étude avait pour objectif d'effectuer un bilan économique relatif à l'utilisation des véhicules électriques au sein de la Région de Bruxelles Capitale.

Un premier volet s'intéresse donc aux coûts d'utilisation propres aux véhicules électriques. Ces coûts d'utilisation, exprimés en termes de coûts fixes et de coûts variables, font l'objet d'une comparaison avec ceux relatifs aux véhicules traditionnels essence et diesel. Il est également tenu compte dans cette partie de l'influence du parcours annuel moyen effectué par les véhicules ainsi que de l'influence de la durée d'amortissement. De plus, un scénario à l'horizon 2010 est envisagé. Ce scénario tient compte de l'évolution du prix de l'électricité (compte tenu de la libéralisation des marchés de l'énergie) ainsi que de l'évolution du prix des carburants. Pour finir, différentes mesures politiques incitatives en faveur du véhicule électrique sont également analysées dans cette partie.

Un deuxième volet traite des coûts de mise en œuvre de divers scénarios d'introduction de véhicules électriques en Région de Bruxelles-Capitale. Ces scénarios ont été définis par l'équipe du Professeur Maggetto de la VUB.

Pour finir, un bref aperçu des obstacles empêchant la production en série des véhicules électriques a été dressé.

Au terme de cette analyse, il a été pu être conclu qu'à l'heure actuelle, étant donné l'étroitesse du marché des véhicules électriques, il est difficile d'imaginer une introduction massive de ce type de propulsion dans la Région de Bruxelles Capitale. L'absence de production en série de ces véhicules, entraînant des prix d'achat beaucoup trop élevés, reste en effet un obstacle majeur pour toute personne désireuse d'acquérir un tel véhicule.

Ainsi, si l'on compare les coûts d'utilisation au kilomètre des véhicules électriques et ceux de leurs homologues thermiques, un surcoût de plus de 40% est enregistré en défaveur du véhicule électrique. Cet état de fait est évidemment imputable au prix d'achat de ce type de véhicule, 70% plus cher que le même véhicule essence et 52% de plus que le diesel. Par contre, si l'on ne considère que les autres postes tels que l'assurance, l'entretien, les taxes et les frais de consommation, l'utilisation du véhicule électrique devient alors beaucoup plus intéressante que celle des deux autres modes de propulsion. Cette conclusion est encore plus vraie lorsque l'on analyse la situation à l'horizon 2010. En effet, la libéralisation des marchés de l'électricité ainsi que la hausse attendue des prix du pétrole auront pour conséquence de favoriser davantage les véhicules électriques en ce qui concerne le poste consommation.

Par conséquent, si les pouvoirs publics désirent réellement promouvoir l'utilisation du véhicule électrique en ville, des mesures de politique incitative doivent absolument être mises en place. On pense notamment à des subventions accordées par les pouvoirs publics pour l'achat de véhicules électriques ou encore à des réductions de taxes et de prime d'assurance en faveur de ce type de propulsion ; différentes mesures qui ont déjà été expérimentées à l'étranger.

Par ailleurs, l'utilisation de modes de transport électrique est, comme nous l'avons déjà vu, étroitement corrélée aux infrastructures électriques et aux projets d'urbanisme. Ce type de transport nécessite donc, lors de la phase initiale, le soutien de mesures politiques accélérant la mise en place de nouvelles infrastructures de bornes de recharge. L'introduction de véhicules électriques dépend également en grande partie des politiques stimulant l'adaptation de nouveaux concepts de transport. Ainsi, différents scénarios ont été envisagés dans cette partie.

Ces scénarios concernaient :

- la mise en œuvre d'un réseau de stations de location automatique de véhicules électriques à l'intérieur de la Région de Bruxelles Capitale en complément au transport public ;
- l'introduction de x% des véhicules électriques dans les flottes d'entreprises publiques ou privées ;
- la restriction d'accès dans certaines zones de la ville accordant une priorité pour le transport public et les véhicules électriques ;
- la mise en œuvre de centres de distribution de marchandises utilisant des véhicules électriques afin d'alléger le trafic des véhicules lourds dans le centre ville en faveur des camionnettes électriques.

L'analyse économique de ces scénarios montre, qu'à nouveau, l'achat des véhicules électriques représente la charge financière la plus importante, du moins en ce qui concerne des scénarios tels que le réseau de stations de location de véhicules électriques ou le réseau de distribution de marchandises.

Un tel constat nous permet donc de conclure que pour favoriser l'introduction de véhicules électriques au sein de la Région de Bruxelles Capitale, les pouvoirs publics devront d'abord s'orienter vers des scénarios de moindre envergure. Ainsi, des scénarios tels que la restriction d'accès dans certaines zones en faveur des véhicules électriques à zéro émission ou encore le remplacement des véhicules thermiques par des véhicules électriques au sein de flottes captives tant privées que publiques, semblent à l'heure actuelle les plus viables financièrement. Il ne faut pas pour autant exclure d'emblée les autres scénarios. Ces derniers pourront être envisagés par la suite dans la mesure où un retour d'expérience existera pour le cas précis de Bruxelles-Capitale. La mise en place des deux autres scénarios permettront en effet d'analyser les comportements d'utilisation des véhicules électriques et des bornes de recharge. Une telle analyse permettra donc par la suite, de mettre en place de la manière la plus efficace possible tant un réseau de distribution de marchandises qu'un réseau de location de véhicules électriques.

Par ailleurs, nos conclusions restent fort mitigées en ce qui concerne un éventuel développement du véhicule électrique vers une production en série. Cette dernière est néanmoins indispensable au développement de ce type de propulsion. Cependant, il existe, comme nous l'avons vu, encore beaucoup d'obstacles à lever et peu d'incitants économiques dans le chef des constructeurs automobiles pour passer à une production en série des véhicules électriques.

Pour être totalement complet, nous devons encore signaler que nous n'avons pas pris en compte dans cette étude les différents coûts afférents à la promotion des véhicules électriques. Nous entendons par là, les frais relatifs aux différentes campagnes publicitaires et autres, visant à faire connaître et promouvoir les véhicules électriques. De tels coûts doivent évidemment être pris en compte et ajoutés à ceux qui ont été calculés dans cette partie.

## 4. Analyse des aspects environnementaux

L'analyse menée dans le cadre de ce projet a été double.

Il s'agissait dans un premier temps d'aborder la problématique de la pollution atmosphérique d'une façon globale en développant un outil permettant la modélisation d'épisodes de pollution photochimique et l'évaluation des dommages qui y sont associés. Diverses stratégies générales de réduction des émissions de gaz précurseurs ont ainsi pu être évaluées pour permettre une meilleure compréhension de la situation autour de Bruxelles.

Dans un second temps, l'analyse s'est intéressée à une mesure spécifique d'introduction de véhicules électriques dans la Région de Bruxelles-Capitale de façon à en déterminer les bénéfices potentiels du point de vue de la réduction de la pollution aux différentes échelles locale, régionale et globale.

#### 4.1 Méthodologie générale

Afin d'évaluer les impacts associés à la pollution photochimique en termes d'effets néfastes sur la santé publique, de détérioration des matériaux, d'atteintes à la végétation et aux cultures agricoles par exemple, la méthodologie développée dans le cadre de cette recherche repose sur l'évaluation du coût des dommages. Egalement connue sous le nom d'approche du chemin d'impact, cette méthodologie trace le passage d'un polluant depuis l'endroit où il est émis jusqu'à l'impact final en suivant une série logique d'étapes.

L'évaluation des effets externes générés par les transports est alors le résultat d'une analyse qui comporte quatre étapes principales:

- évaluation des émissions polluantes dont est responsable le trafic routier;
- détermination des concentrations en polluant résultantes dans l'air ambiant (immissions) ;
- calcul des dommages physiques ;
- traduction en termes monétaires.

La modélisation de la relation « émissions-immissions » a nécessité une approche spécifique dans le cas de la pollution photochimique qui demande de recourir à des modèles déterministes de dispersion des polluants ainsi qu'à des modèles chimiques pour pouvoir rendre compte des phénomènes physiques et chimiques intervenant dans la formation d'ozone.

Le modèle METPHOMOD développé par le groupe de modélisation numérique du Laboratoire de Pollution Atmosphérique et des Sols à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne a été utilisé.

L'utilisation de ce modèle a nécessité l'établissement d'un cadastre d'émissions horaires spécifique à la Belgique pour une série de 36 polluants : méthane, monoxyde de carbone, monoxyde d'azote, dioxyde d'azote, dioxyde de soufre ainsi que 31 espèces de composés organiques volatils non-méthaniques.

En terme de dommages, l'approche développée s'est limitée aux effets à court terme (épisode) pour lesquels des fonctions exposition-réponse étaient disponibles. L'analyse considère spécifiquement les effets sur la santé en termes de mortalité aiguë et d'admissions à l'hôpital pour cause respiratoire au cours d'un épisode de pollution photochimique.

Dans un premier temps, la méthodologie développée a permis de modéliser un épisode de pollution photochimique survenu les 10 et 11 août 1998 considéré comme situation de référence et de calculer les dommages associés à cet épisode sur un domaine de 120 km x 120 km centré sur Bruxelles. L'évaluation a conduit à des coûts externes de 2,2 M€ dont 80% sont associés à la mortalité aiguë.

Sur base de cette méthodologie différentes stratégies et scénarios ont pu être évalués dans un second temps.

#### 4.2 Stratégies générales de lutte contre la pollution photochimique

Dans le cadre de l'évaluation de stratégies générales de réduction des émissions de gaz précurseurs, trois scénarios de réduction des émissions d'oxydes d'azote et de composés organiques volatils ont été analysés. Les stratégies considérées consistaient à réduire les émissions totales au niveau de la Région de Bruxelles-Capitale de trois façons : uniquement les émissions de NOx de 50% ; uniquement les émissions de COV de 50% ; ou simultanément les émissions de NOx et COV de 50%.

Sur base de cette analyse, il n'est pas aisé de conclure de façon univoque sur la stratégie la plus efficace pour améliorer la situation. En effet, en fonction de la zone géographique ou du critère d'évaluation considérés, des conclusions différentes peuvent être établies quant à la stratégie la plus efficace en terme de réduction de la pollution photochimique.

Si la réduction des émissions de COV seuls en région bruxelloise apparaît comme la stratégie la plus efficace pour la diminution des valeurs de pic observées sur le domaine, c'est la réduction des émissions de NOx seuls qui est la plus efficace en terme de diminution des valeurs moyennes sur 8 heures auxquelles sont associés les effets sur la santé.

Les différents scénarios considérés conduisent tous à des augmentations des concentrations d'ozone dans les principales agglomérations urbaines (Anvers, Bruxelles, Gand, Charleroi et Mons-Borinage) ce qui indique la saturation de ces zones à la fois en NOx et en COV.

Concernant spécifiquement la Région de Bruxelles-Capitale, la stratégie la moins défavorable – c'est-à-dire celle qui conduit à l'augmentation la plus faible des concentrations – est celle de réduction des émissions de COV uniquement.

En terme de dommages à la santé, seul le scénario de réduction des émissions de NOx conduit à une réduction des coûts externes associés à l'épisode par rapport à la situation de référence. Les deux autres scénarios conduisent à de légères augmentations (moins de 1%) de ces dommages, ceci malgré l'effet global des réductions des concentrations d'ozone.

Ceci s'explique par le fait que, d'une part, seuls les dommages sur la santé sont intégrés dans l'évaluation et que, d'autre part, c'est au niveau des grandes agglomérations que se produisent les plus grands accroissements de pollution photochimique. Les effets positifs d'une réduction des précurseurs en région bruxelloise se faisant surtout ressentir dans les zones rurales, l'intégration des effets sur la végétation et les cultures agricoles à long termes pourraient conduire à des conclusions différentes.

#### **4.3 Effets environnementaux associés à l'introduction véhicules électriques et hybrides en Région de Bruxelles-Capitale**

L'analyse générale des aspects environnementaux qui a été menée dans un premier temps a permis de mettre en évidence les principaux avantages que présentent les technologies électriques et hybrides.

Deux scénarios généraux d'introduction de véhicules légers utilisant ces technologies ont permis d'estimer les réductions d'émissions polluantes qui peuvent être attendues d'une introduction de 10% de véhicules électriques et hybrides à essence respectivement dans le trafic routier en Région de Bruxelles-Capitale. Cette analyse générale a également permis de mettre en évidence les bénéfices environnementaux – réduction des coûts externes – potentiels qui peuvent être attendus de la pénétration de ces technologies. Chaque % de part de marché de ces technologies représenterait un bénéfice environnemental de 5,5 M€ en terme de réduction des coûts externes annuels associés aux dommages locaux. Ces scénarios mettent également en évidence des réductions importantes des émissions de gaz à effet de serre (-5,9% pour les véhicules électriques et -3,6% pour les véhicules hybrides) ainsi que de gaz précurseurs de l'ozone troposphérique.

Les effets de la mise en place d'une politique plus volontariste qui conduirait à une pénétration plus importante des véhicules purement électriques dans la Région de Bruxelles-Capitale grâce à différentes mesures d'accompagnement appropriées (réseau de location de véhicules, restriction d'accès de certaines zones aux véhicules thermiques, etc.) ont fait l'objet d'une analyse spécifique. Le scénario analysé considère que la « part de marché » des véhicules électriques est de 50% dans le centre ville (pentagone), 20% dans une zone intermédiaire entre la petite ceinture et la grande ceinture et 5 % à l'extérieur de cette dernière.

Au niveau des impacts locaux – c'est-à-dire au niveau de la Région même – ce scénario conduit à des réductions de 76 M€ des coûts externes associés aux dommages locaux principalement dominés par les effets sur la mortalité associés aux particules.

En terme de réduction des émissions de gaz à effet de serre, ce scénario conduit à une réduction de 8% ce qui correspond à des bénéfices environnementaux de 0,144 M€ par rapport à la situation pour l'année 1998.

Ce scénario permet également de réaliser des réductions assez importantes des émissions de gaz précurseurs d'ozone troposphérique : -7,3% pour les NOx et -13,4% pour les COV. Il s'agit d'une évaluation globale intégrant les émissions directes et indirectes associées à ce scénario. Compte tenu de la complexité des phénomènes mis en oeuvre et de leur non-linéarité, cette analyse a été complétée par une simulation des effets de ces réductions d'émissions sur la pollution photochimique dans et autour de Bruxelles.

Les résultats de cette simulation montrent une réduction générale des valeurs de pics (-1,6% en moyenne), des concentrations moyennes sur 8 heures maximales (-3,9% en moyenne) caractéristiques des effets sur la santé ainsi que des concentrations moyennes sur 24h (-4,7% en moyenne) représentatives des dommages sur les cultures et la végétation. En terme de dommages sur la santé, ce scénario d'introduction massive de véhicules électriques conduit à une réduction de 1,8% des coûts externes associés à l'épisode considéré pour l'ensemble du domaine analysé, soit un bénéfice de 40.000 € (1,6 MBEF). Cette réduction importante des externalités sur la santé humaine est principalement à mettre en relation avec l'effet positif de ce scénario sur les concentrations en ozone dans les deux principales zones urbaines que sont Anvers et Bruxelles contrairement à ce qui était observé pour les scénarios de stratégie générale.

En effet, en ce qui concerne les effets de ce scénario spécifiquement sur la situation en Région de Bruxelles-Capitale, les simulations ont permis de montrer des diminutions significatives de la concentration maximale d'ozone au cours de l'épisode et de la concentration moyenne sur 8 heures maximale. Ces évolutions conduisent à des dommages associés à la pollution photochimique estimés à 0,33 M€, ce qui représente une diminution de près de 4% des coûts externes par rapport au cas de référence.

## 5. Bilan des aspects économiques et environnementaux

Si l'on se réfère au scénario d'introduction de véhicules purement électriques dont les effets environnementaux sont résumés ci-dessus, on s'aperçoit que ce scénario permet d'améliorer la situation générale en ce qui concerne la pollution photochimique et conduit à des bénéfices environnementaux non-négligeables par rapport aux dommages provoqués lors d'un épisode. Ces bénéfices s'élèvent à 40.000 € (1,6 MBEF) sur l'ensemble du domaine considéré et 12.355 € (0,5 MBEF) spécifiquement pour la Région de Bruxelles-Capitale.

Rappelons que, dans le cadre de cette étude, nous nous sommes focalisés sur un seul épisode, pour une zone déterminée et que nous n'avons considéré que les effets à court terme sur la santé humaine. Si l'on multiplie ces montants par le nombre d'épisodes ou de situations où des concentrations d'ozone produisent déjà des effets sur la population, les bénéfices environnementaux d'une telle mesure pourraient être bien plus importants. L'intégration des effets à court terme et à long terme sur la végétation et les productions agricoles devrait également conduire à des montants plus élevés.

En comparaison avec les bénéfices environnementaux associés aux dommages locaux, les bénéfices associés à une réduction des coûts associés à la pollution photochimique est plutôt limitée. Pour le même scénario, ces bénéfices ont pu être chiffrés à environ 76 M€ par an. Les bénéfices liés à une réduction des dommages associés au réchauffement climatique avaient quant à eux été estimés à 0,144 M€.

En ce qui concerne les coûts annuels de mise en place des différents scénarios considérés dans l'analyse économique, l'analyse économique a montré qu'ils allaient de 0,1 M€ pour la restriction d'accès à certaines zones de la Région à près de 130 M€ pour la mise en oeuvre d'un réseau de centres de distribution de marchandises provenant par la route exploité au maximum. Les coûts annuels de mise en place d'un scénario général intégrant les différentes mesures proposées mais à un niveau d'exploitation plus faible ont quant à eux été évalués à un peu plus de 70 M€

On peut donc conclure que, si la réduction des dommages liés à la pollution photochimique que permet l'introduction de véhicules électriques en Région de Bruxelles-Capitale ne compense pas à elle seule les coûts de mise en oeuvre d'une politique volontariste en la matière, la prise en compte des autres effets positifs qui sont associés à cette introduction justifie un tel investissement principalement si on tient compte des effets sanitaires au niveau local.