

---

## Quantification des émissions (gaz à effet de serre et polluants à effets sanitaires) liées aux routes du Maroc pour l'année 2014

*Référence : n°560/16/S*

---



**Octobre 2016**

## SOMMAIRE

---

|   |           |
|---|-----------|
| <b>SOMMAIRE .....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>A. CONTEXTE .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>B. METHODOLOGIE ET DESCRIPTION DES DONNEES D'ENTREE POUR LE CALCUL DES EMISSIONS ROUTIERES .....</b>                       | <b>4</b>  |
| B.1. LES OUTILS UTILISES .....  | 4         |
| B.2. LES DONNEES D'ENTREE ET LES HYPOTHESES REALISEES .....   | 5         |
| B.2.1. <i>Les axes routiers</i> .....   | 5         |
| B.2.2. <i>Les comptages routiers</i> .....  | 6         |
| B.2.3. <i>Le parc automobile roulant</i> .....  | 6         |
| B.2.4. <i>Les profils temporels</i> .....   | 6         |
| B.2.5. <i>Les données météorologiques</i> .....   | 7         |
| B.2.6. <i>Autres paramètres</i> .....   | 7         |
| B.2.7. <i>Le fichier des données d'entrée</i> .....   | 8         |
| <b>C. EVALUATION DES EMISSIONS ROUTIERES SUR LE TERRITOIRE MAROCAIN .....</b>   | <b>9</b>  |
| C.1. LES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE (GES) DU TRANSPORT ROUTIER .....   | 9         |
| C.2. LES EMISSIONS DE POLLUANTS A EFFETS SANITAIRES (PES) .....   | 12        |
| <b>D. EVALUATION DES EMISSIONS ROUTIERES AVEC REPORT DE LA CIRCULATION DES AUTOROUTES SUR LES NATIONALES ADJACENTES .....</b> | <b>14</b> |
| D.1. PRINCIPE DU REPORT .....   | 14        |
| D.2. LES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE .....  | 15        |
| D.3. LES EMISSIONS DE POLLUANTS A EFFETS SANITAIRES .....   | 17        |
| <b>E. LIMITES DE L'ETUDE ET RECOMMANDATIONS .....</b>   | <b>19</b> |
| <b>F. CONCLUSION .....</b>  | <b>21</b> |
| <b>G. TABLE DES ILLUSTRATIONS .....</b>   | <b>22</b> |
| G.1. TABLEAUX .....   | 22        |
| G.2. FIGURES .....  | 22        |
| G.3. CARTES .....   | 22        |
| <b>H. BIBLIOGRAPHIE .....</b>   | <b>23</b> |
| <b>ANNEXES .....</b>  | <b>24</b> |
| ANNEXE 1 : ORIGINES ET EFFETS DES POLLUANTS (SOURCE : CITEPA) .....   | 24        |
| ANNEXE 2 : LE PARC AUTOMOBILE ROULANT 2010 (SOURCE : CITEPA) .....  | 28        |
| ANNEXE 3 : DONNEES METEOROLOGIQUES (SOURCE : INFOCLIMAT) .....  | 29        |
| ANNEXE 4 : CIRCUL'AIR 3.0 : VITESSE, PENTE, CAPACITE TOTALE ET NOMBRE FROID .....   | 31        |
| ANNEXE 5 : CARTOGRAPHIE DES EMISSIONS DE GES A L'ECHELLE DU MAROC AVANT REPORT POUR L'ANNEE 2014 .....                        | 32        |
| ANNEXE 6 : CARTOGRAPHIE DES EMISSIONS DE PM <sub>10</sub> ET PM <sub>2,5</sub> AVANT REPORT POUR L'ANNEE 2014 .....           | 33        |
| ANNEXE 7 : CARTOGRAPHIE DES EMISSIONS DE GES A L'ECHELLE DU MAROC APRES REPORT POUR L'ANNEE 2014 .....                        | 34        |
| ANNEXE 8 : CARTOGRAPHIE DES EMISSIONS DE PM <sub>10</sub> ET PM <sub>2,5</sub> APRES REPORT POUR L'ANNEE 2014 .....           | 35        |

## A. Contexte

---

La mission fondamentale de la société Autoroutes Du Maroc (ADM, <http://www.adm.co.ma>) concerne la construction, l'entretien et l'exploitation du réseau autoroutier que lui concède l'Etat. Chaque section d'autoroute concédée à ADM fait l'objet d'un contrat de concession qui fixe les droits et obligations du concédant et du concessionnaire. Le siège de la société se situe à Hay Riad à Rabat. La société a pour objet :

- la construction, l'entretien et l'exploitation d'autoroutes qui lui sont concédées par voie de concessions ou contrats,
- la gestion, la protection et la conservation du domaine public dépendant du réseau de transport mis à sa disposition,
- la création et l'exploitation de services touristiques, d'hôtellerie et de tout autre service dans la proximité géographique de l'autoroute,
- l'exploitation et la gestion des biens immobiliers et mobiliers.

Le secteur du transport routier représente un émetteur majeur de gaz à effet de serre et d'émissions polluantes dans l'atmosphère (par exemple 26% des émissions de GES en France en 2013 sont consécutives au transport routier - Ministère de l'Environnement <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Transports,34304.html>). Soucieuse de la préservation de l'environnement, la société ADM a sollicité Lig'Air, réseau de surveillance de la qualité de l'air en région Centre-Val de Loire (France). Expert dans la réalisation des inventaires des émissions notamment dans le calcul des émissions routières, Lig'Air a dans un premier temps pour missions sur l'ensemble du territoire marocain :

- d'évaluer les émissions routières de Gaz à Effet de Serre (GES) au niveau des autoroutes, de produire une cartographie du réseau autoroutier sous Système d'Information Géographique (SIG) pour les GES, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et le méthane (CH<sub>4</sub>),
- d'évaluer les émissions routières de Polluants à Effet Sanitaire (PES) et de produire une cartographie du réseau autoroutier sous Système d'Information Géographique (SIG) pour les polluants suivants : oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), particules en suspension (PM<sub>10</sub><sup>1</sup>) et (PM<sub>2,5</sub><sup>2</sup>).

Dans un second temps, Lig'Air doit :

- évaluer les émissions routières de Gaz à Effet de Serre (GES) avec le report de la circulation des autoroutes sur les nationales adjacentes (cartographie),
- évaluer les émissions routières de Polluants à Effets Sanitaires (PES) avec le report de la circulation des autoroutes sur les nationales adjacentes (cartographie),

Enfin, Lig'Air assurera un transfert de savoir vers la société ADM.

---

<sup>1</sup> PM<sub>10</sub>: particules en suspension d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm

<sup>2</sup> PM<sub>2,5</sub>: particules en suspension d'un diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm

## B. Méthodologie et description des données d'entrée pour le calcul des émissions routières

Cette première partie se consacre essentiellement à présenter la méthodologie relative au calcul des émissions routières avec une description succincte des outils utilisés et des données d'entrées nécessaires au calcul.

Avant tout, il faut préciser en quoi consiste un calcul d'émission de polluant du secteur routier dans un inventaire des émissions comme indiqué figure 1.

L'évaluation du trafic annuel sur chaque axe routier et pour chaque type de véhicules passe par la collecte et l'exploitation des données de comptages tous véhicules et de la part des poids-lourds dans cette valeur. A partir de profils temporels (profil par mois, profil par jour, profil horaire), le trafic routier pour chaque axe et chaque type de véhicule est calculé pour chaque heure, chaque jour et chaque mois de l'année. Les vitesses de circulation horaires sont calculées en fonction de la catégorie de l'axe (autoroute, urbain, rural) et de l'encombrement. Ce dernier varie en fonction de la capacité de l'axe (nombre de voies) et du flux de circulation. L'ensemble de ces informations est calculé pour chaque heure et chaque axe modélisé. Le trafic horaire est réparti à l'aide d'une caractérisation fine du parc automobile roulant. La consommation d'énergie et les émissions dans l'air sont ainsi estimées sur chaque axe routier et pour chaque type de véhicule.

Pour finir, ces émissions horaires sont sommées pour fournir une émission annuelle par brin routier pour chacun des polluants

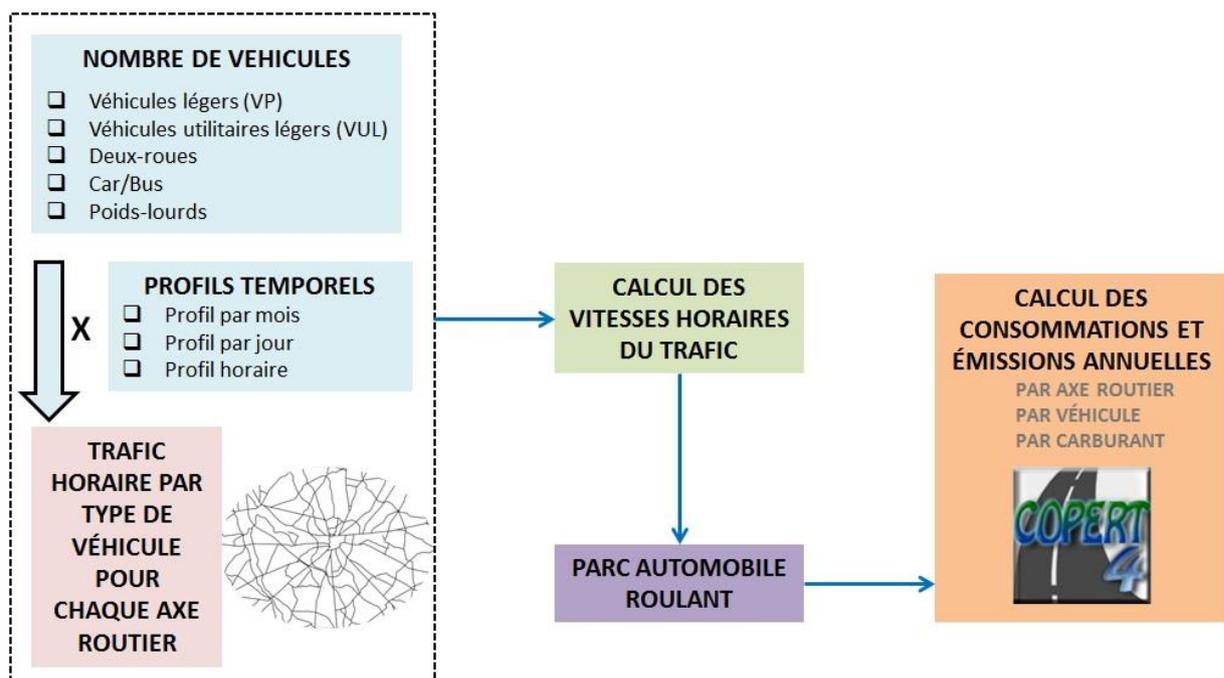


Figure 1 : Schéma du calcul des émissions du transport routier

### B.1. Les outils utilisés

Dans le cadre de cette étude, le calcul des émissions routières est réalisé à l'aide de l'outil Circul'air développé par l'ASPA, réseau de surveillance de la qualité de l'air de la région Alsace (France). Circul'air est un logiciel soumis à une licence, créé en 1997 dans le but de calculer les émissions imputables au transport routier. La version du logiciel, Circul'air 3.0, se base sur la méthodologie européenne de calcul des émissions du transport routier COPERT IV version 10 (sous licence) et sur les éléments publiés dans le cadre du PCIT (Pôle de Coordination nationale des Inventaires Territoriaux qui permet d'harmoniser les

méthodologies de calcul des émissions au niveau national (Ministère de l'Ecologie, 2012). Une notice explicative sur l'installation et l'utilisation de l'outil Circul'air est fournie conjointement à ce rapport (ASPA, 2012).

Circul'air calcule pour chaque axe routier les émissions annuelles du trafic routier ainsi que les consommations (carburants, huile, urée).

Les émissions dues à l'usure des routes, des pneus et des freins ainsi que la remise en suspension (remise en suspension des particules déposées au sol lors du passage d'un véhicule) sont aussi calculées. Conformément aux règles de rapportage européen, les émissions liées à la remise en suspension de particules ne sont pas incluses dans le total des émissions particulières données dans ce présent rapport afin d'éviter une part de double compte. Toutefois, elles jouent un rôle dans la qualité de l'air et devraient être prises en compte dans des outils numériques de modélisation.

Les données d'entrée à renseigner sont principalement :

- le Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA),
- le pourcentage par type de véhicule (% de poids-lourds, % de bus, % de cars),
- les profils temporels du trafic (profil par mois, profil par jour, profil horaire),
- les données météorologiques (moyenne mensuelle des températures minimales journalières et moyenne mensuelle des températures maximales journalières, moyenne mensuelle de l'humidité relative,
- la capacité de la voie,
- le parc automobile roulant permettant de prendre en compte les types de véhicules (carburants utilisés, cylindrés, norme EURO, ...),
- la longueur de chaque axe,
- la pente,
- le pourcentage de véhicule roulant à froid.

Le renseignement de l'ensemble de ces paramètres nécessite l'utilisation du logiciel Excel et d'un Système d'Information Géographique (celui utilisé dans le cadre de cette étude est MapInfo Professionnel 11.0).

## B.2. Les données d'entrée et les hypothèses réalisées

Ce paragraphe récapitule l'ensemble des données d'entrée indispensables aux calculs des émissions routières à renseigner pour le logiciel Circul'air. Les principales données utilisées et les hypothèses réalisées sont détaillées.

### B.2.1. Les axes routiers

Compte tenu de la thématique de l'étude, la totalité du réseau autoroutier a été considérée. De même, l'ensemble du réseau de routes nationales et régionales a été pris en compte dans l'évaluation. Afin d'affiner cette évaluation, certaines routes provinciales ont également été considérées pour lesquelles des données de comptages routiers (TMJA) étaient disponibles. La cartographie de l'ensemble de ces axes routiers a été extraite du site Geofabrik (<https://www.geofabrik.de/>) dont l'objectif est de permettre d'utiliser librement les données cartographiques en collaboration avec OpenStreetMap.

Chaque axe routier est découpé en plusieurs brins routiers (ou tronçons routiers, allant de 2 m à 192 km dans la base utilisée pour l'étude) comme le schématise la figure 2. Chaque brin routier représente une source d'émissions routières. Circul'air calculera les émissions des GES (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O) et des PES (NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> et PM<sub>25</sub>) sur chacun de ces brins. L'origine et les effets de ces polluants sont donnés en annexe 1.

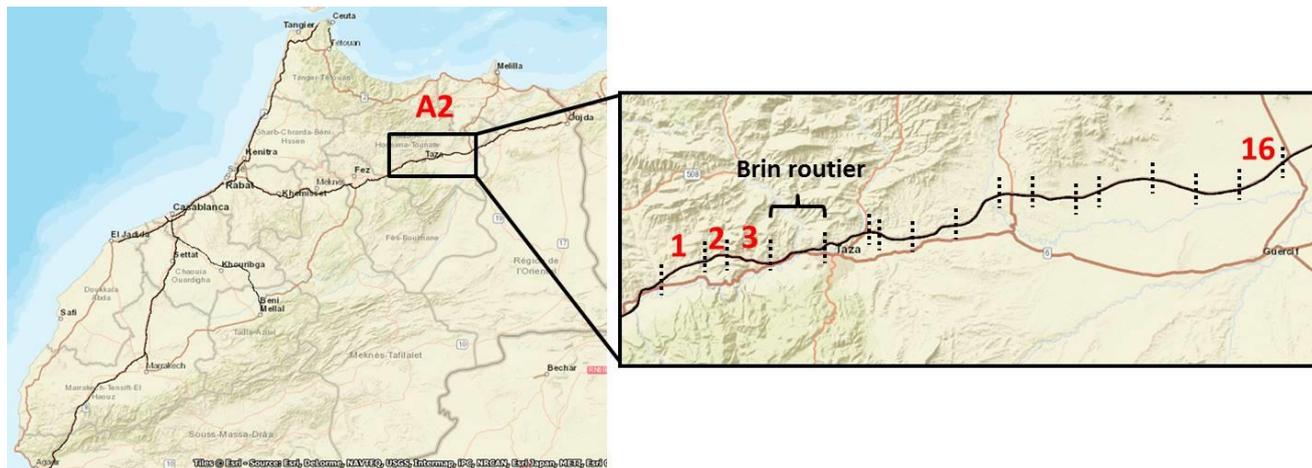


Figure 2: Notion de brins routiers

Le nombre de brins routiers pris en compte dans l'étude s'élève à 10 442.

### B.2.2. Les comptages routiers

Les données de comptages routiers correspondent au Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) ainsi que le pourcentage de poids-lourds (%PL) associés à chaque brin routier. Pour cette étude, les pourcentages de bus et d'autocars n'ont pas été considérés par manque d'informations et ont donc été considérés nuls. Les comptages routiers (TMJA et %PL) pris en compte sont ceux obtenus sur **l'année 2014**. Ils sont issus du Ministère marocain de l'Équipement, du Transport et de la Logistique, Direction des routes (Ministère de l'Équipement, 2014).

Un travail préalable a été réalisé afin de vérifier la cohérence des noms des axes routiers entre le document (Ministère de l'Équipement, 2014) et la table géographique utilisée sous SIG. Quelques anomalies ont pu être observées et ont été corrigées. Toutes les données de comptage routier ont été intégrées sous format Excel. Une jointure a ensuite été réalisée entre ce fichier Excel et la table SIG à partir du numéro du comptage afin d'y intégrer les données.

### B.2.3. Le parc automobile roulant

Le parc automobile roulant permet de prendre en compte les types de véhicules et en particulier les carburants utilisés, les cylindrés, la norme EURO, ... Par manque d'information sur le parc roulant marocain, le parc automobile roulant français de l'année 2010 a été considéré comme représentatif du parc automobile marocain et a donc été utilisé. Le détail du parc automobile roulant est présenté en annexe 2. Il est issu du Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique (CITEPA).

### B.2.4. Les profils temporels

Les profils temporels utilisés pour le calcul des émissions routières correspondent aux évaluations du trafic en fonction du mois, du jour et de l'heure de l'année 2014. Ainsi, les profils temporels intégrés dans Circul'air sont fonction du type de voie (autoroutes, nationales, régionales ou provinciales). Par manque de données de comptages routiers à l'échelle horaire, les profils temporels utilisés dans le cadre de cette étude sont ceux utilisés en région Centre-Val de Loire.

A partir de ces profils, Circul'air calcule le trafic horaire par type de véhicules pour chaque jour de chaque mois de l'année. La prise en compte des profils temporels dans le logiciel Circul'air doit être renseignée par l'intermédiaire du paramètre Poste\_reference.

### B.2.5. Les données météorologiques

Les données météorologiques indispensables aux calculs des émissions routières concernent essentiellement :

- la moyenne mensuelle des températures minimales journalières,
- la moyenne mensuelle des températures maximales journalières,
- la moyenne mensuelle de l'humidité relative.

Ces données météorologiques spécifiques au territoire marocain ont été récupérées auprès de l'association Infoclimat (<http://www.infoclimat.fr/>). Un droit d'utilisation de ces données a été obtenu auprès de l'association après une demande spécifique.

Neuf stations météorologiques représentatives de neuf régions de la partie nord du Maroc ont été utilisées. Le tableau 1 présente les caractéristiques des neuf stations météorologiques utilisées dans le cadre de cette étude. Une cartographie des ces stations météorologiques est donnée en annexe 3.

| Numéro_Région | Region                    | Site_Meteo       | Latitude | Longitude | Altitude | Date début | Type station |
|---------------|---------------------------|------------------|----------|-----------|----------|------------|--------------|
| 1             | Tanger_Tétouan_Al Hoceima | Tanger_Aéroport  | 35,73°N  | 5,90°O    | 19 m     | 01/01/1957 | METAR/SYNOP  |
| 2             | L'Oriental                | Oujda            | 34,78°N  | 1,93°O    | 468 m    | 18/03/1999 | METAR/SYNOP  |
| 3             | Fes_Meknes                | Meknès           | 33,88°N  | 5,53°O    | 576 m    | 18/03/1999 | METAR/SYNOP  |
| 4             | Rabat_Salé_Kenitra        | Rabat-Salé       | 34,05°N  | 6,77°O    | 84 m     | 13/01/1949 | METAR/SYNOP  |
| 5             | Beni-Mellal-Khenifra      | Beni-Mellal      | 32,37°N  | 6,40°O    | 468 m    | 01/01/1973 | METAR/SYNOP  |
| 6             | Casablanca_Settat         | Casablanca       | 33,57°N  | 7,67°O    | 62 m     | 18/03/1999 | METAR/SYNOP  |
| 7             | Marrakech-Safi            | Marrakech        | 31,62°N  | 8,03°O    | 468 m    | 18/03/1999 | METAR/SYNOP  |
| 8             | Draa_Tafilalet            | Ouarzazate       | 30,93°N  | 6,90°O    | 1139 m   | 01/04/1949 | METAR/SYNOP  |
| 9             | Souss-Massa               | Agadir-AlMassira | 30,33°N  | 9,40°O    | 74 m     | 01/03/1992 | METAR/SYNOP  |
| 10            | Guelmin -Oued Noun        |                  |          |           |          |            |              |
| 11            | Laayoune-Sakia El Hamra   |                  |          |           |          |            |              |
| 12            | Dakhla_Oued Ed Dahab      |                  |          |           |          |            |              |

Tableau 1 : Stations météorologiques utilisées dans le cadre de l'étude

Les moyennes mensuelles des températures minimales et maximales ont été obtenues en faisant la moyenne à partir de ces températures quotidiennes.

La moyenne mensuelle de l'humidité relative a été obtenue en faisant la moyenne à partir des données tri-horaires d'humidité relative.

Il faut noter que, pour la station d'Oujda, le pourcentage des données disponibles pour les températures journalières est un peu plus faible (de l'ordre de 75%) et que pour la station de Béni-Mellal, les données d'humidité relative sont généralement absentes la nuit entre 21h et 6h. La présence de ces données partielles ne nuisent pas à la représentativité des moyennes obtenues et utilisées pour le logiciel Circul'Air. Les données issues des trois paramètres utilisées (moyenne mensuelle des températures minimales journalières, moyenne mensuelle des températures maximales journalières et la moyenne mensuelle de l'humidité relative) pour le calcul des émissions routières à l'aide du logiciel Circul'Air sont fournies en annexe 3.

### B.2.6. Autres paramètres

En complément des données d'entrée décrites ci-dessus, d'autres paramètres jouent un rôle essentiel aux calculs des émissions routières et au bon fonctionnement du logiciel Circul'air.

Ainsi, **la longueur et la pente** de chaque brin routier doivent être renseignées et calculées. Le calcul de la longueur a été réalisé directement sous SIG. N'ayant aucune donnée pour calculer la pente, celle-ci a été considérée comme nulle sur l'ensemble des brins pris en compte dans l'étude (le code Pente a donc été considéré à 3 dans le fichier d'entrée de Circul'air). Pour une route à double sens, on a une assez bonne compensation entre la surémission en montée et la sous-émission en descente.

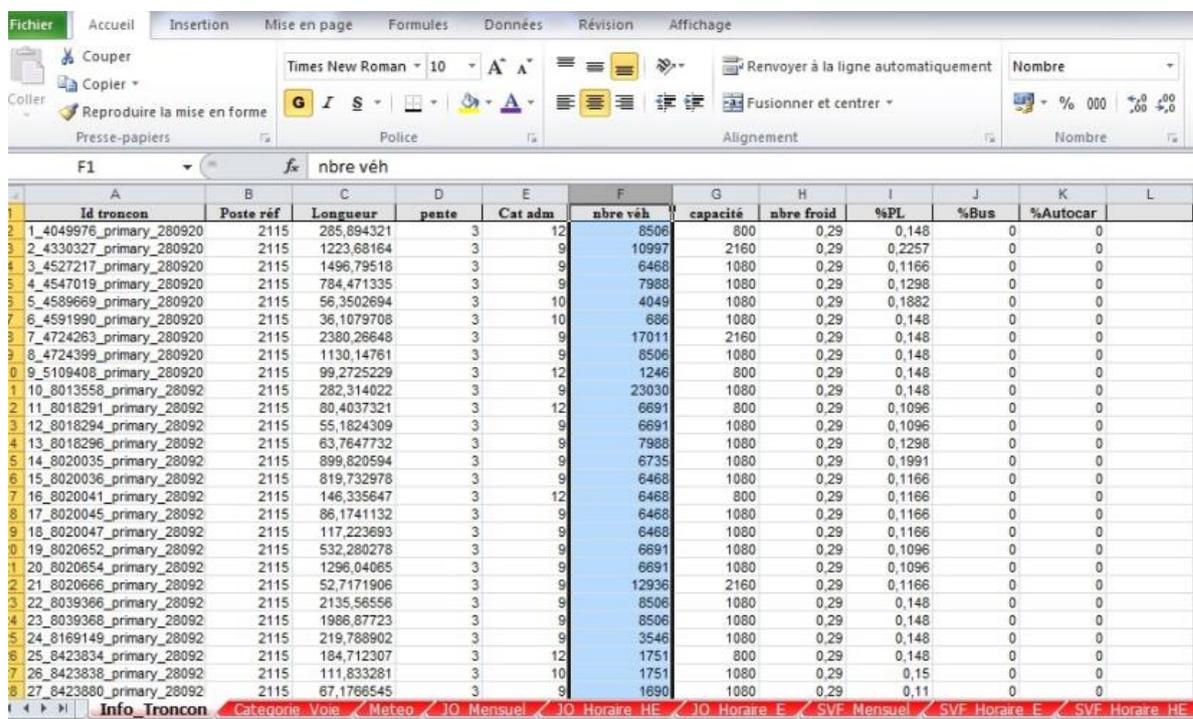
La **capacité de la voie** correspond au nombre théorique de véhicules roulant à la vitesse maximale autorisée sur le brin routier pour un trafic fluide sur une heure. Elle est estimée à partir du nombre de voies et de la catégorie de l'axe considéré (autoroutes, nationales, départementales, ville, ...). La notice d'utilisation de Circul'air fournit une nomenclature afin de pouvoir renseigner ce critère (annexe 4).

Le **pourcentage de véhicule roulant à froid** est représenté dans Circul'air par le nombre froid. Ce paramètre est fonction de la catégorie de l'axe routier. Il varie de 0 à 0,41 (annexe 4).

Enfin, le dernier paramètre à considérer est **la vitesse**. La connaissance de celle-ci ainsi que du nombre de voie permettra de définir la catégorie de l'axe en question (annexe 4).

### B.2.7. Le fichier des données d'entrée

Le fichier « emission\_trafic.xls » est le fichier d'entrée pour l'utilisation du logiciel Circul'air. Ce fichier contient l'ensemble des éléments nécessaires au calcul des émissions routières. Un exemple est montré en figure 3.



|    | A                        | B         | C          | D     | E       | F        | G        | H          | I      | J    | K        | L |
|----|--------------------------|-----------|------------|-------|---------|----------|----------|------------|--------|------|----------|---|
|    | Id tronçon               | Poste réf | Longueur   | pente | Cat adm | nbre véh | capacité | nbre froid | %PL    | %Bus | %Autocar |   |
| 1  | 1_4049976_primary_280920 | 2115      | 285,894321 | 3     | 12      | 8506     | 800      | 0,29       | 0,148  | 0    | 0        |   |
| 2  | 2_4330327_primary_280920 | 2115      | 1223,68164 | 3     | 9       | 10997    | 2160     | 0,29       | 0,2257 | 0    | 0        |   |
| 3  | 3_4527217_primary_280920 | 2115      | 1496,79518 | 3     | 9       | 6468     | 1080     | 0,29       | 0,1166 | 0    | 0        |   |
| 4  | 4_4547019_primary_280920 | 2115      | 784,471335 | 3     | 9       | 7988     | 1080     | 0,29       | 0,1298 | 0    | 0        |   |
| 5  | 5_4589669_primary_280920 | 2115      | 56,3502694 | 3     | 10      | 4049     | 1080     | 0,29       | 0,1882 | 0    | 0        |   |
| 6  | 6_4591990_primary_280920 | 2115      | 36,1079708 | 3     | 10      | 688      | 1080     | 0,29       | 0,148  | 0    | 0        |   |
| 7  | 7_4724263_primary_280920 | 2115      | 2380,28648 | 3     | 9       | 17011    | 2160     | 0,29       | 0,148  | 0    | 0        |   |
| 8  | 8_4724399_primary_280920 | 2115      | 1130,14761 | 3     | 9       | 8506     | 1080     | 0,29       | 0,148  | 0    | 0        |   |
| 9  | 9_5109408_primary_280920 | 2115      | 99,2725229 | 3     | 12      | 1246     | 800      | 0,29       | 0,148  | 0    | 0        |   |
| 10 | 10_8013558_primary_28092 | 2115      | 282,314022 | 3     | 9       | 23030    | 1080     | 0,29       | 0,148  | 0    | 0        |   |
| 11 | 11_8018291_primary_28092 | 2115      | 80,4037321 | 3     | 12      | 6691     | 800      | 0,29       | 0,1096 | 0    | 0        |   |
| 12 | 12_8018294_primary_28092 | 2115      | 55,1824309 | 3     | 9       | 6691     | 1080     | 0,29       | 0,1096 | 0    | 0        |   |
| 13 | 13_8018296_primary_28092 | 2115      | 63,7647732 | 3     | 9       | 7988     | 1080     | 0,29       | 0,1298 | 0    | 0        |   |
| 14 | 14_8020035_primary_28092 | 2115      | 899,820594 | 3     | 9       | 6735     | 1080     | 0,29       | 0,1991 | 0    | 0        |   |
| 15 | 15_8020036_primary_28092 | 2115      | 819,732978 | 3     | 9       | 6468     | 1080     | 0,29       | 0,1166 | 0    | 0        |   |
| 16 | 16_8020041_primary_28092 | 2115      | 146,335647 | 3     | 12      | 6468     | 800      | 0,29       | 0,1166 | 0    | 0        |   |
| 17 | 17_8020045_primary_28092 | 2115      | 86,1741132 | 3     | 9       | 6468     | 1080     | 0,29       | 0,1166 | 0    | 0        |   |
| 18 | 18_8020047_primary_28092 | 2115      | 117,223693 | 3     | 9       | 6468     | 1080     | 0,29       | 0,1166 | 0    | 0        |   |
| 19 | 19_8020652_primary_28092 | 2115      | 532,280278 | 3     | 9       | 6691     | 1080     | 0,29       | 0,1096 | 0    | 0        |   |
| 20 | 20_8020654_primary_28092 | 2115      | 1296,04065 | 3     | 9       | 6691     | 1080     | 0,29       | 0,1096 | 0    | 0        |   |
| 21 | 21_8020666_primary_28092 | 2115      | 52,7171906 | 3     | 9       | 12936    | 2160     | 0,29       | 0,1166 | 0    | 0        |   |
| 22 | 22_8039366_primary_28092 | 2115      | 2135,56556 | 3     | 9       | 8506     | 1080     | 0,29       | 0,148  | 0    | 0        |   |
| 23 | 23_8039368_primary_28092 | 2115      | 1986,87723 | 3     | 9       | 8506     | 1080     | 0,29       | 0,148  | 0    | 0        |   |
| 24 | 24_8169149_primary_28092 | 2115      | 219,788902 | 3     | 9       | 3546     | 1080     | 0,29       | 0,148  | 0    | 0        |   |
| 25 | 25_8423834_primary_28092 | 2115      | 184,712307 | 3     | 12      | 1751     | 800      | 0,29       | 0,148  | 0    | 0        |   |
| 26 | 26_8423838_primary_28092 | 2115      | 111,833281 | 3     | 10      | 1751     | 1080     | 0,29       | 0,15   | 0    | 0        |   |
| 27 | 27_8423880_primary_28092 | 2115      | 67,1766545 | 3     | 9       | 1690     | 1080     | 0,29       | 0,11   | 0    | 0        |   |

Figure 3 : Visualisation de l'onglet Info\_Tronçon contenant l'ensemble des caractéristiques de chacun des brins routiers

Le fichier emission\_trafic .xls contient principalement:

- un onglet principal Info\_Tronçon regroupant l'ensemble des caractéristiques de chacun des brins routiers sur lesquels les émissions routières sont calculées,
- un onglet Catégorie\_Voie qui contient les caractéristiques des types de voie notamment les vitesses autorisées,
- un ensemble de 10 onglets contenant les profils Annuels, Mensuels et Horaires pour 3 types de jours (Jours Ouvrés, Samedi et Veille de Fête et Dimanches et Fêtes),
- un onglet Meteo qui contient les températures moyennes mensuelles minimales, maximales et d'humidité relative,
- un onglet Parc\_automobile qui contient pour un ensemble de 264 classes de véhicules leurs répartitions dans le parc roulant pour une année donnée,
- un onglet Teneur qui contient des éléments de composition de carburant.

Les résultats des calculs de Circul'air sont injectés dans une base de données MySQL créée par l'utilisateur composée automatiquement de 26 tables. Ensuite, un export des données d'émissions en format .csv est nécessaire. Le calcul des émissions est relativement long pouvant aller de plusieurs jours à plus d'une semaine en fonction du nombre de brins routiers considérés et selon la puissance de l'ordinateur.

## C. Evaluation des émissions routières sur le territoire marocain

Les axes routiers pris en compte dans l'étude concernent uniquement ceux pour lesquels des données de comptages routiers de 2014 existaient (partie B.2.1). Ces axes regroupent les typologies suivantes : « autoroutes », « nationales » et « autres ». La typologie « autres » rassemblent les axes régionaux et provinciaux pour lesquels des données de comptage routier furent renseignées. Ainsi, les axes routiers considérés dans cette étude représentent 28 183 km de route (tableau 2), soit les axes majeurs du territoire marocain constitué d'un total de 57 500 km de réseau routier.

Les calculs réalisés pour estimer les émissions routières de GES et PES tiennent compte des hypothèses décrites dans la partie B.2.

| Typologie de routes   | Longueur (en km) |
|---|------------------|
| Autoroutes  | 3 440            |
| Nationales  | 10 634           |
| Autres  | 14 109           |
| <b>Longueur totale des axes pris en compte dans l'étude</b> | <b>28 183</b>    |

Tableau 2 : Typologie des axes routiers pris en compte dans l'étude

Comme indiqué précédemment, les Gaz à Effet de Serre (GES) considérés sont le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), le méthane ( $\text{CH}_4$ ) et le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Dans la suite du rapport, les émissions de GES du transport routier sont exprimées en  $\text{teq CO}_2^3$ . Les Potentiels de Réchauffement Global (PRG) de ces différents gaz tels que définis par le GIEC sont ceux de 2007 selon les décisions prises à ce jour par la Conférence des Parties (Source CITEPA mise à jour Septembre 2016 : <http://www.citepa.org/fr/air-et-climat/polluants/effet-de-serre/potentiel-rechauffement-global-a-100-ans>) :

- $\text{CO}_2 = 1$
- $\text{CH}_4 = 25$
- $\text{N}_2\text{O} = 298$

Les émissions routières en Polluants à Effets Sanitaires (PES) concernent, dans le cadre de cette étude, les oxydes d'azote  $\text{NO}_x$ , les particules en suspension  $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2,5}$  et sont exprimées en tonnes (t).

### C.1. Les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) du transport routier

Les émissions routières de GES pour l'année 2014 sont récapitulées dans le tableau 3. Compte tenu des incertitudes des résultats, les valeurs dans les tableaux ont été arrondies à la centaine de tonnes près. A partir des données d'entrée décrites dans la partie B.2 et des hypothèses réalisées, les émissions routières totales de GES atteignent 7 825 600  $\text{teq CO}_2$  dont 7 759 100 tonnes de  $\text{CO}_2$ , 9 500  $\text{teq CO}_2$  de  $\text{CH}_4$  et 57 000  $\text{teq CO}_2$  de  $\text{N}_2\text{O}$ .

<sup>3</sup>  $\text{teq CO}_2$  : tonne équivalent  $\text{CO}_2$

| Typologie de routes        | GES<br>(teq CO <sub>2</sub> ) | CO <sub>2</sub><br>(t) | CH <sub>4</sub><br>(teq CO <sub>2</sub> ) | N <sub>2</sub> O<br>(teq CO <sub>2</sub> ) |
|----------------------------|-------------------------------|------------------------|---|--|
| Autoroutes                 | 2 259 900                     | 2 242 400              | 2 300                                     | 15 100                                     |
| Nationales                 | 3 218 600                     | 3 190 200              | 4 200                                     | 24 200                                     |
| Autres                     | 2 347 100                     | 2 326 500              | 3 000                                     | 17 700                                     |
| <b>TOTAL EMISSIONS GES</b> | <b>7 825 600</b>              | <b>7 759 100</b>       | <b>9 500</b>                              | <b>57 000</b>                              |

Tableau 3 : Emissions routières totales de GES, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O (exprimées en teq CO<sub>2</sub>) pour l'année 2014

La figure 4 montre les contributions de chaque type de routes dans les émissions routières totales de GES, de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O. Les nationales contribuent à elles seules à 41% des émissions totales de GES suivies par la typologie « autres » avec 30% et par les autoroutes avec 29% des émissions. Ainsi, les nationales sont plus émettrices que les autoroutes à l'échelle nationale.

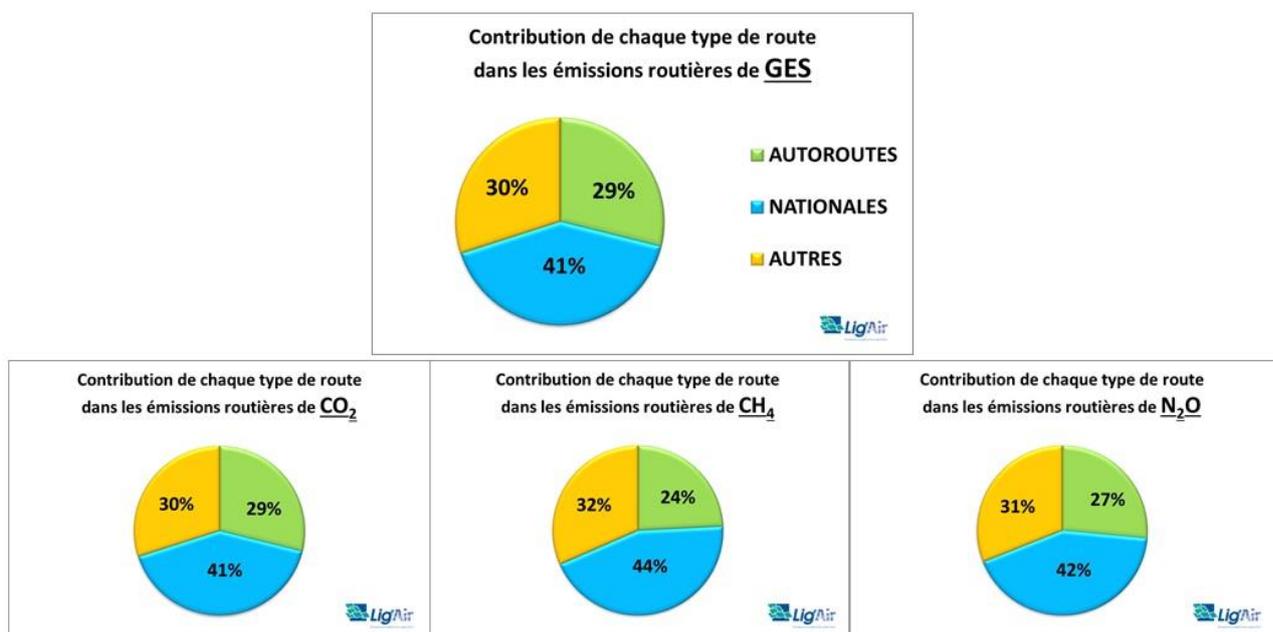
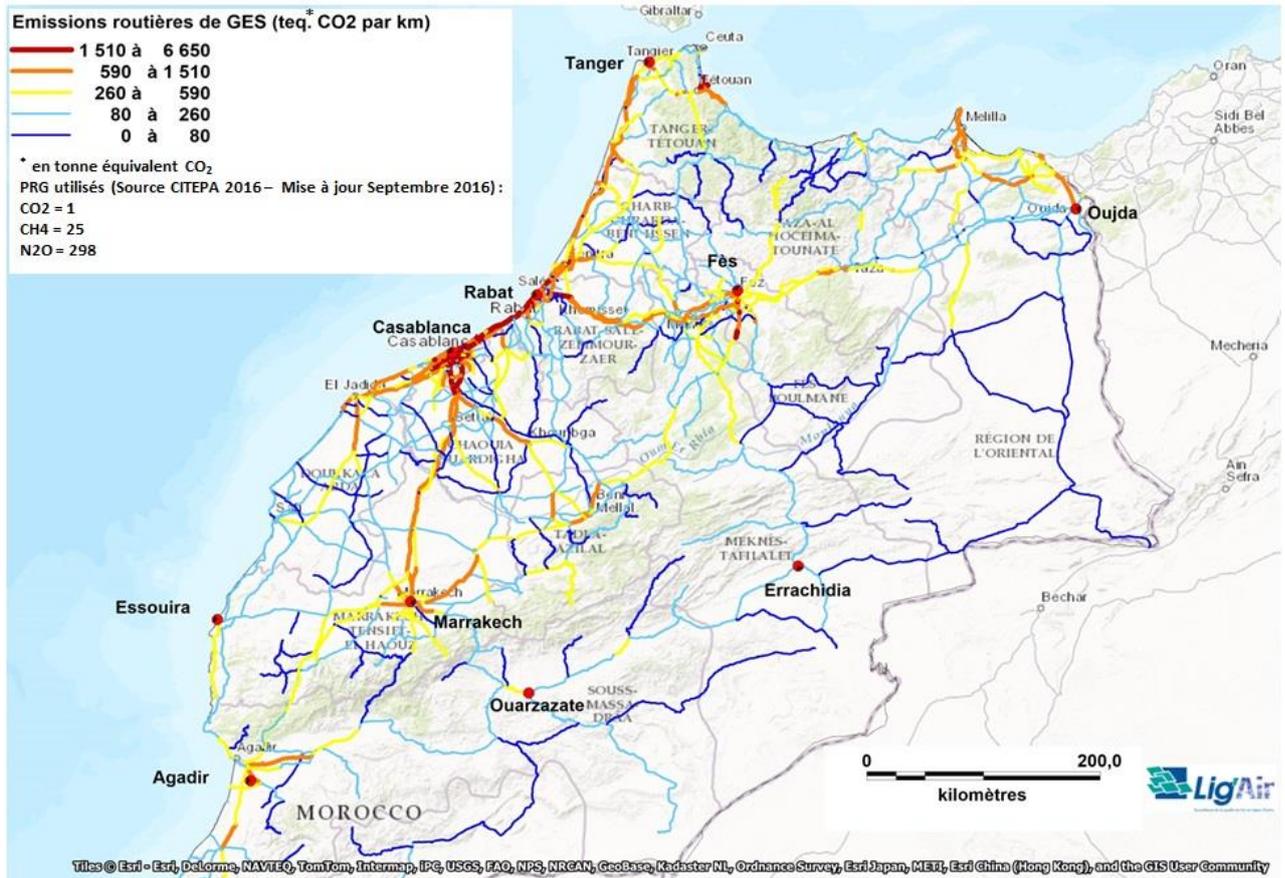


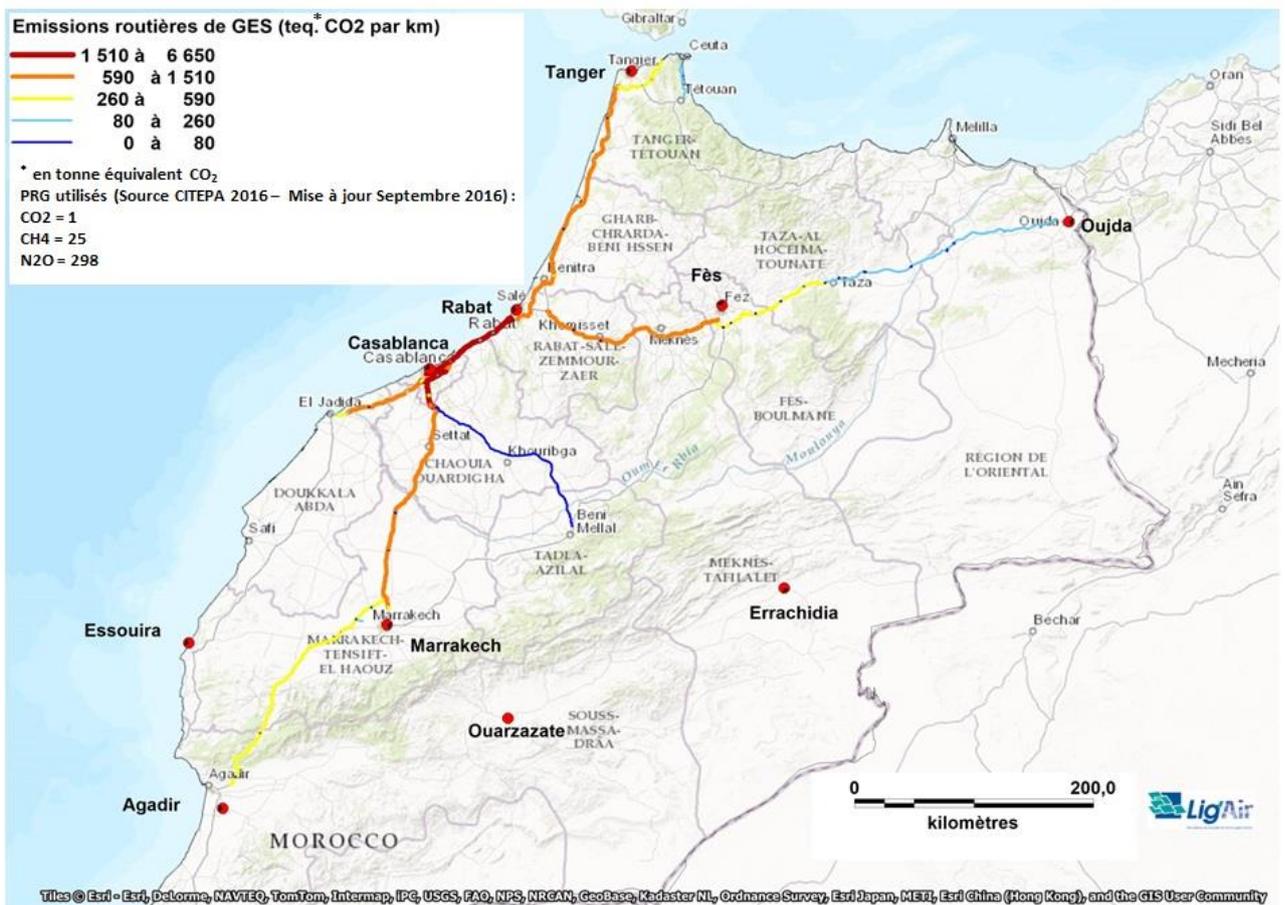
Figure 4 : Contribution de chaque typologie de routes dans les émissions routières totales de GES, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O pour l'année 2014

La cartographie des émissions routières de GES à l'échelle du Maroc est indiquée en Annexe 5. La cartographie 1 montre les émissions routières de GES dans la partie nord du Maroc en considérant l'ensemble des axes routiers pris en compte dans l'étude. Les émissions de GES en provenance uniquement des autoroutes sont représentées sur la cartographie 2. Afin d'obtenir une cohérence et une homogénéité des émissions routières dans les différentes cartographies, les émissions calculées sur l'ensemble des brins routiers (partie B.2.1) ont été normalisées par rapport à leur longueur respective.

L'autoroute A3 localisée entre les villes de Rabat et de Casablanca est l'autoroute la plus émettrice de GES compte tenu du trafic routier très important entre ces deux villes (environ 50 000 véhicules par jour). A l'inverse, les autoroutes A7 (entre Marrakech et Agadir) et A2 (entre Fès et Oujda) enregistrent des émissions de GES relativement faibles par rapport aux autres autoroutes. L'autoroute A8 (entre Casablanca et Béni Mellal) est la moins émettrice de GES car elle présente un trafic routier très faible (environ 1 000 véhicules par jour).



Carte 1 : Emissions routières de GES (en teq CO<sub>2</sub> par km) du Maroc pour l'année 2014



Carte 2 : Emissions routières de GES issues uniquement des autoroutes (en teq CO<sub>2</sub> par km) pour l'année 2014

Le tableau 4 présente les émissions routières de GES, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O en teq CO<sub>2</sub> par km. Cet indicateur permet de montrer que les émissions sur les autoroutes sont plus importantes que celles sur les autres typologies de routes malgré des longueurs totales d'axes plus faibles (tableau 2) mais un trafic très nettement supérieur et une vitesse plus importante (généralement 120 km/h).

| Typologie de routes | GES<br>(teq CO <sub>2</sub> par km) | CO <sub>2</sub><br>(t par km) | CH <sub>4</sub><br>(teq CO <sub>2</sub> par km) | N <sub>2</sub> O<br>(teq CO <sub>2</sub> par km) |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---|--|
| Autoroutes          | 657                                 | 652                           | 0,69  | 4,4  |
| Nationales          | 303                                 | 300                           | 0,4   | 2,3  |
| Autres              | 166                                 | 165                           | 0,2   | 1,3  |

Tableau 4 : Emissions routières de GES, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O par km (exprimés en teq CO<sub>2</sub> par km) pour l'année 2014

Le tableau 5 présente les émissions routières de GES, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O en teq CO<sub>2</sub> en fonction de la typologie de véhicules. Compte tenu de l'hypothèse du parc automobile pris en compte dans l'étude (partie B.2.3) et de la seule connaissance du nombre de véhicules et du nombre de poids-lourds, les émissions issues des poids-lourds et celles issues des autres véhicules (véhicules particulières, motos, mobylettes et véhicules utilitaires) peuvent uniquement être exploitées. **Ainsi, il en ressort que les poids-lourds émettent à eux seuls près de 43% des émissions totales de GES à l'échelle nationale avec 3 332 700 teq CO<sub>2</sub>.**

| Typologie de véhicules  | GES<br>(teq CO <sub>2</sub> ) | CO <sub>2</sub><br>(t) | CH <sub>4</sub><br>(teq CO <sub>2</sub> ) | N <sub>2</sub> O<br>(teq CO <sub>2</sub> ) |
|---|-------------------------------|------------------------|---|--|
| Poids-Lourds  | 3 332 700                     | 3 305 900              | 5 200                                     | 21 700                                     |
| Autres véhicules<br>(véhicules particuliers, motos,<br>mobylettes, véhicules utilitaires) | 4 492 900                     | 4 453 200              | 4 300                                     | 35 300                                     |
| <b>TOTAL EMISSIONS GES</b>  | <b>7 825 600</b>              | <b>7 759 100</b>       | <b>9 500</b>                              | <b>57 000</b>                              |

Tableau 5 : Emissions routières de GES, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O en fonction de la typologie de véhicules (exprimés en teq CO<sub>2</sub>) pour l'année 2014

## C.2. Les émissions de Polluants à Effets Sanitaires (PES)

Les émissions routières des polluants à effets sanitaires (NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>) pour l'année 2014 sont récapitulées dans le tableau 6. Compte tenu des incertitudes des résultats, les valeurs dans les tableaux ont été arrondies à la centaine de tonnes près pour les NO<sub>x</sub> et à la dizaine de tonnes près pour les particules. A partir des données d'entrées décrites dans la partie B.2 et des hypothèses réalisées, les émissions routières en NO<sub>x</sub> s'élèvent à 45 300 tonnes, à 2 620 tonnes pour les PM<sub>10</sub> et 2 090 tonnes pour les PM<sub>2,5</sub>. Le phénomène de remise en suspension n'a pas été considéré dans cette étude comme ce qui est fait habituellement dans le calcul des inventaires nationaux et régionaux en France.

| Typologie de routes        | NO <sub>x</sub> (t) | PM <sub>10</sub> (t) | PM <sub>2,5</sub> (t) |
|----------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| Autoroutes                 | 14 200              | 720                  | 610                   |
| Nationales                 | 18 100              | 1 080                | 850                   |
| Autres                     | 13 000              | 820                  | 630                   |
| <b>TOTAL EMISSIONS PES</b> | <b>45 300</b>       | <b>2 620</b>         | <b>2 090</b>          |

Tableau 6 : Emissions routières totales de NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> (exprimés en tonnes) pour l'année 2014

La figure 5 montre les contributions de chaque type de route dans les émissions routières totales de NOx, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>. Les nationales contribuent à elles seules à 40% des émissions totales de NOx suivies par les autoroutes avec 31% et de la typologie « autres » avec 29% des émissions. De manière générale, les mêmes observations peuvent également être réalisées pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2,5</sub>. Ainsi, les nationales sont 11% plus émettrices que les autoroutes à l'échelle nationale.

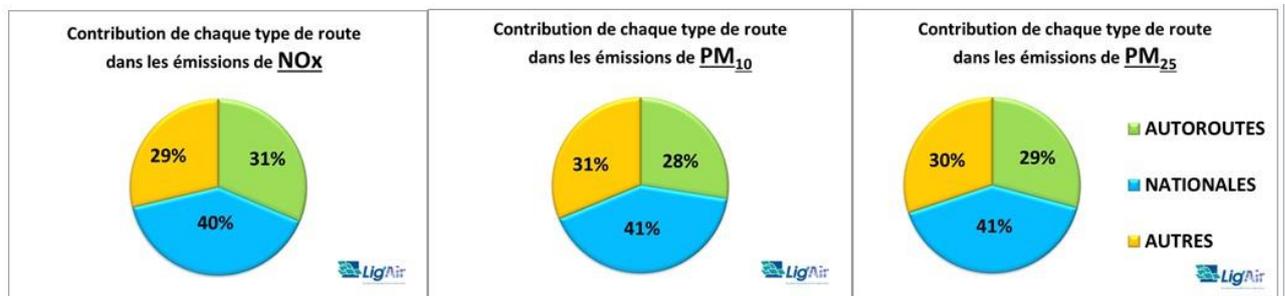
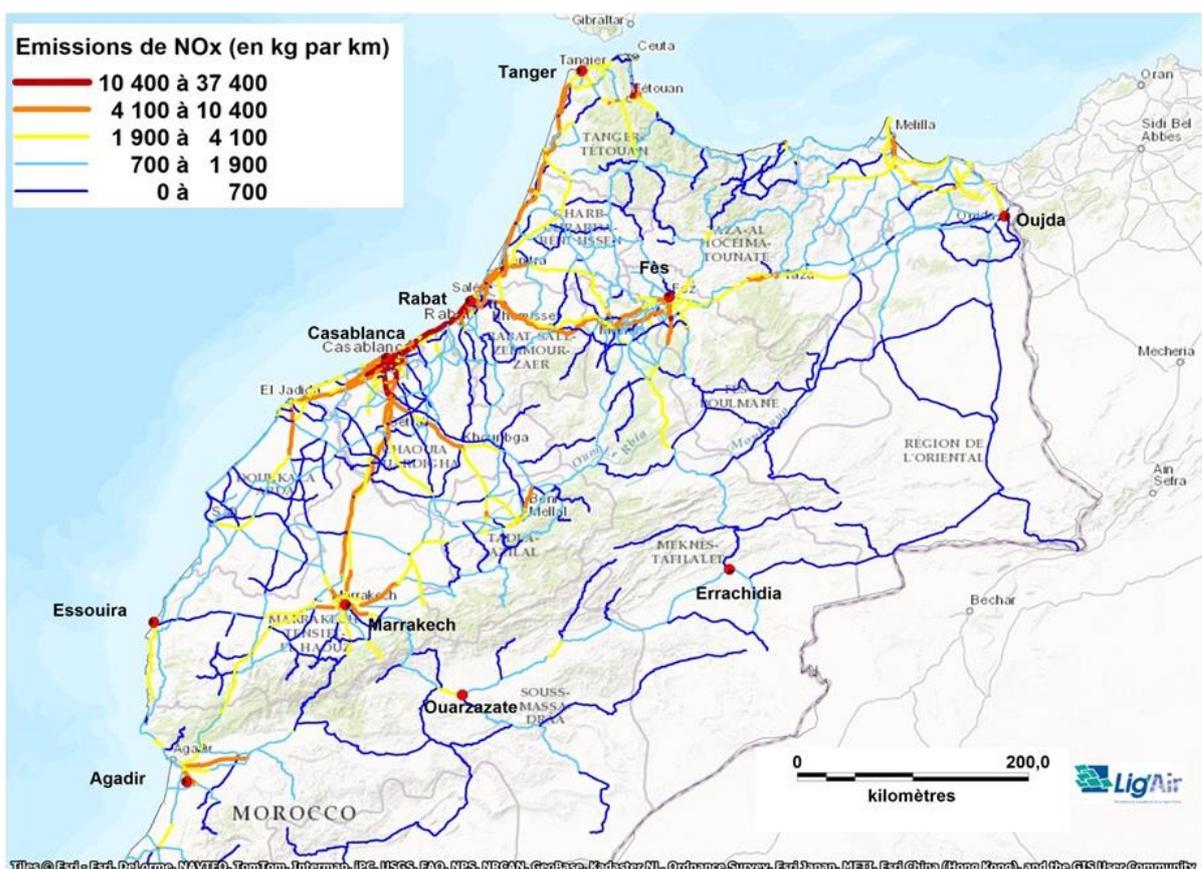


Figure 5 : Contribution de chaque typologie de route dans les émissions routières totales de NOx, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> pour l'année 2014

Les cartographies des émissions routières de PM<sub>10</sub> et de PM<sub>2,5</sub> sont présentées en Annexe 6. La cartographie 3 montre les émissions routières de NOx dans la partie nord du Maroc en considérant l'ensemble des axes routiers pris en compte dans l'étude. Comme pour la cartographie des GES, afin d'obtenir une cohérence et une homogénéité des émissions routières, les émissions calculées sur l'ensemble des brins routiers (partie B.2.1) ont été normalisées par rapport à leur longueur respective.

Cette cartographie montre que certaines observations faites pour les GES précédemment peuvent être appliquées aux PES. Ainsi, l'autoroute A3 localisée entre les villes de Rabat et de Casablanca est l'autoroute la plus émettrice de NOx (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>) compte tenu du trafic routier très important entre ces deux villes.



Carte 3 : Emissions routières de NOx (en kg par km) du Maroc pour l'année 2014

Le tableau 7 présente les émissions routières de NO<sub>x</sub>, de PM<sub>10</sub> et de PM<sub>2,5</sub> en tonnes par km. Cet indicateur permet de montrer que les autoroutes émettent des NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> de façon plus importante que les autres typologies de routes malgré des longueurs totales d'axes plus faibles (tableau 1).

| Typologie de routes | NO <sub>x</sub><br>(t par km) | PM <sub>10</sub><br>(t par km) | PM <sub>2,5</sub><br>(t par km) |
|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Autoroutes          | 4,1                           | 0,21                           | 0,18                            |
| Nationales          | 1,7                           | 0,1                            | 0,08                            |
| Autres              | 0,92                          | 0,06                           | 0,04                            |

Tableau 7 : Emissions routières de NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> (en tonnes par km) pour l'année 2014

De la même manière que pour l'exploitation des GES, le tableau 8 présente les émissions routières des PES (NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> en tonne) en fonction de la typologie de véhicules. Compte tenu de l'hypothèse du parc automobile pris en compte dans l'étude (partie B.2.3) et de la seule connaissance du nombre de véhicules et du nombre de poids-lourds, les émissions issues des poids-lourds et celles issues des autres véhicules (véhicules particuliers, motos, mobylettes et véhicules utilitaires) peuvent uniquement être exploitées. **Ainsi, il en ressort que les poids-lourds émettent à eux seuls près de 62% des émissions totales de NO<sub>x</sub> à l'échelle nationale avec 28 100 t.**

| Typologie de véhicules   | NO <sub>x</sub> (t) | PM <sub>10</sub> (t) | PM <sub>2,5</sub> (t) |
|--|---------------------|----------------------|-----------------------|
| Poids-Lourds   | 28 100              | 1 060                | 1 290                 |
| Autres véhicules<br>(véhicules particuliers, motos, mobylettes, véhicules utilitaires) | 17 200              | 1 560                | 800                   |
| <b>TOTAL EMISSIONS PES</b>   | <b>45 300</b>       | <b>2 620</b>         | <b>2 090</b>          |

Tableau 8 : Emissions routières de NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> en fonction de la typologie de véhicules (exprimés en t) pour l'année 2014

## D. Evaluation des émissions routières avec report de la circulation des autoroutes sur les nationales adjacentes

Cette partie se consacre à la deuxième phase de l'étude concernant le report de la circulation des autoroutes sur les voies nationales adjacentes.

### D.1. Principe du report

Seules les voies nationales longeant les autoroutes ont été concernées par ce report. Pour les nationales ne longeant pas les autoroutes, aucun report de circulation n'a été effectué. De même, les voies régionales et provinciales n'ont pas été concernées par ce report de circulation et ont vu leurs émissions inchangées. Pour les voies nationales concernées par ce report, leurs caractéristiques n'ont pas été modifiées (capacité, vitesse autorisée, nombre de voies, nombre froid). Seuls les TMJA et le pourcentage poids-lourds ont été modifiés. Ainsi, le TMJA de l'autoroute a été reporté sur la nationale en plus du trafic déjà existant en tenant compte du nombre de sens (les deux sens séparés de l'autoroute ont été appliqués à la

voie nationale généralement à double sens non séparés). De plus, le nombre de poids-lourds de l'autoroute a été ajouté à celui de la nationale pour donner un nouveau pourcentage de poids-lourds sur la nationale comme indiqué par la formule ci-dessous.

$$\text{Pourcent}_{PL\_REPORT} = \frac{\text{Nombre}_{PL\_REPORT}}{\text{TMJA}_{REPORT}}$$

avec  $\text{Nombre}_{PL\_REPORT} = \text{Nombre}_{PL\_Autoroute} + \text{Nombre}_{PL\_Nationale}$

## D.2. Les émissions de Gaz à Effet de Serre

Le tableau 9 dresse le bilan des émissions de GES calculées sur l'ensemble des axes routiers considérés dans le cadre de cette étude avec la prise en compte du report de trafic autoroutier sur les nationales adjacentes. Compte tenu de ce report, les émissions issues des autoroutes sont nulles puisque selon l'hypothèse étudiée, elles ne comportent plus de trafic. Par contre, concernant les nationales, la valeur indiquée intègre toutes les voies nationales à savoir les voies longeant les autoroutes ayant un report de trafic ainsi que les autres voies nationales non concernées par le report (dont les émissions restent inchangées). Les émissions des Autres voies (régionales, provinciales) n'ont pas été modifiées.

| Typologie de routes                                      | GES<br>(teq CO <sub>2</sub> ) | CO <sub>2</sub><br>(t) | CH <sub>4</sub><br>(teq CO <sub>2</sub> ) | N <sub>2</sub> O<br>(teq CO <sub>2</sub> ) |
|--|-------------------------------|------------------------|---|--|
| Autoroutes   | 0                             | 0                      | 0   | 0  |
| Nationales dont reportées                                | 6 230 100                     | 6 179 600              | 8 000                                     | 42 500                                     |
| Autres (inchangées)                                      | 2 347 200                     | 2 326 500              | 3 000                                     | 17 700                                     |
| <b>TOTAL EMISSIONS GES</b>                               | <b>8 577 300</b>              | <b>8 506 100</b>       | <b>11 000</b>                             | <b>60 200</b>                              |
| <b>Hausse des émissions par rapport à l'état initial</b> | <b>+ 9,6%</b>                 | <b>+9,6%</b>           | <b>+15,8%</b>                             | <b>+5,6%</b>                               |

Tableau 9 : Emissions routières totales de GES après report, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O (exprimés en teq CO<sub>2</sub>) pour l'année 2014

Le tableau 9 montre clairement que le report de la circulation des autoroutes sur les nationales adjacentes engendre une augmentation globale des émissions de GES de l'ordre de 9,6% (passant ainsi de 7 825 600 teq CO<sub>2</sub> initialement à 8 577 300 teq CO<sub>2</sub> après le report). Cette augmentation est de 9,6% pour le CO<sub>2</sub>, de 15,8% pour le CH<sub>4</sub> et de 5,6% pour le N<sub>2</sub>O.

L'augmentation des émissions routières due au report du trafic autoroutier sur les nationales adjacentes peut être expliquée par une hausse du trafic routier sur un nombre de voies plus faible. Le phénomène de congestion/ralentissement est amplifié sur certaines zones, généralement l'autoroute est constituée de 4 voies de circulation alors que les nationales n'en possèdent que 2. Il faut noter que cette hausse de la circulation engendre une élévation du flux de véhicules à un instant donné et peut ainsi provoquer une baisse de la fluidité et de la vitesse et par conséquent une augmentation des émissions.

La figure 6 illustre l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> en g/km en fonction de la vitesse de circulation pour les véhicules légers et pour les poids-lourds.

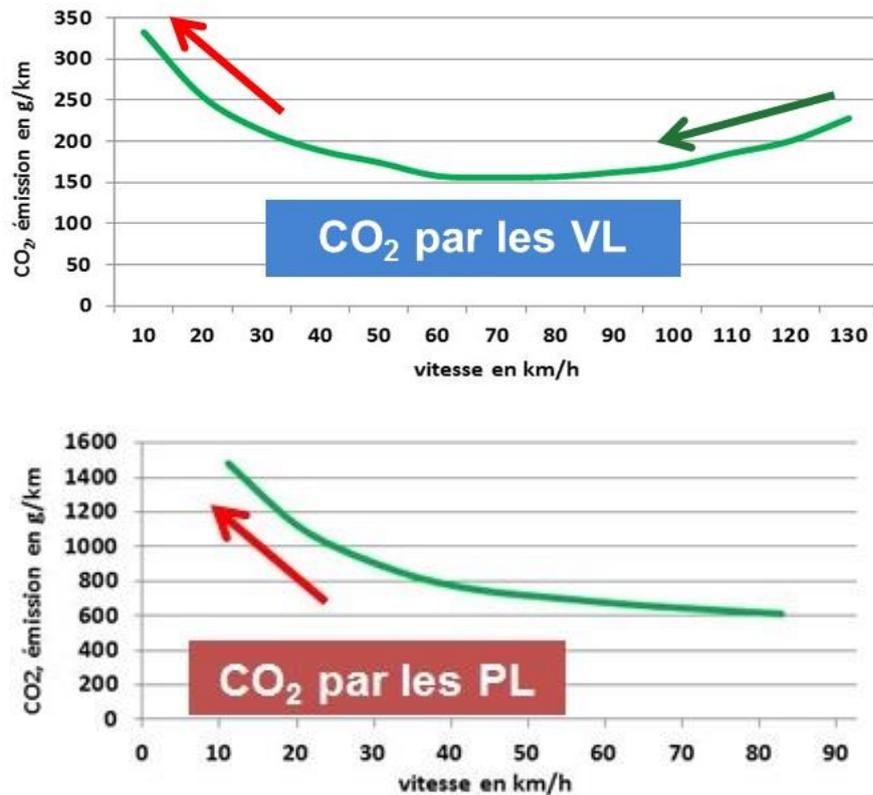
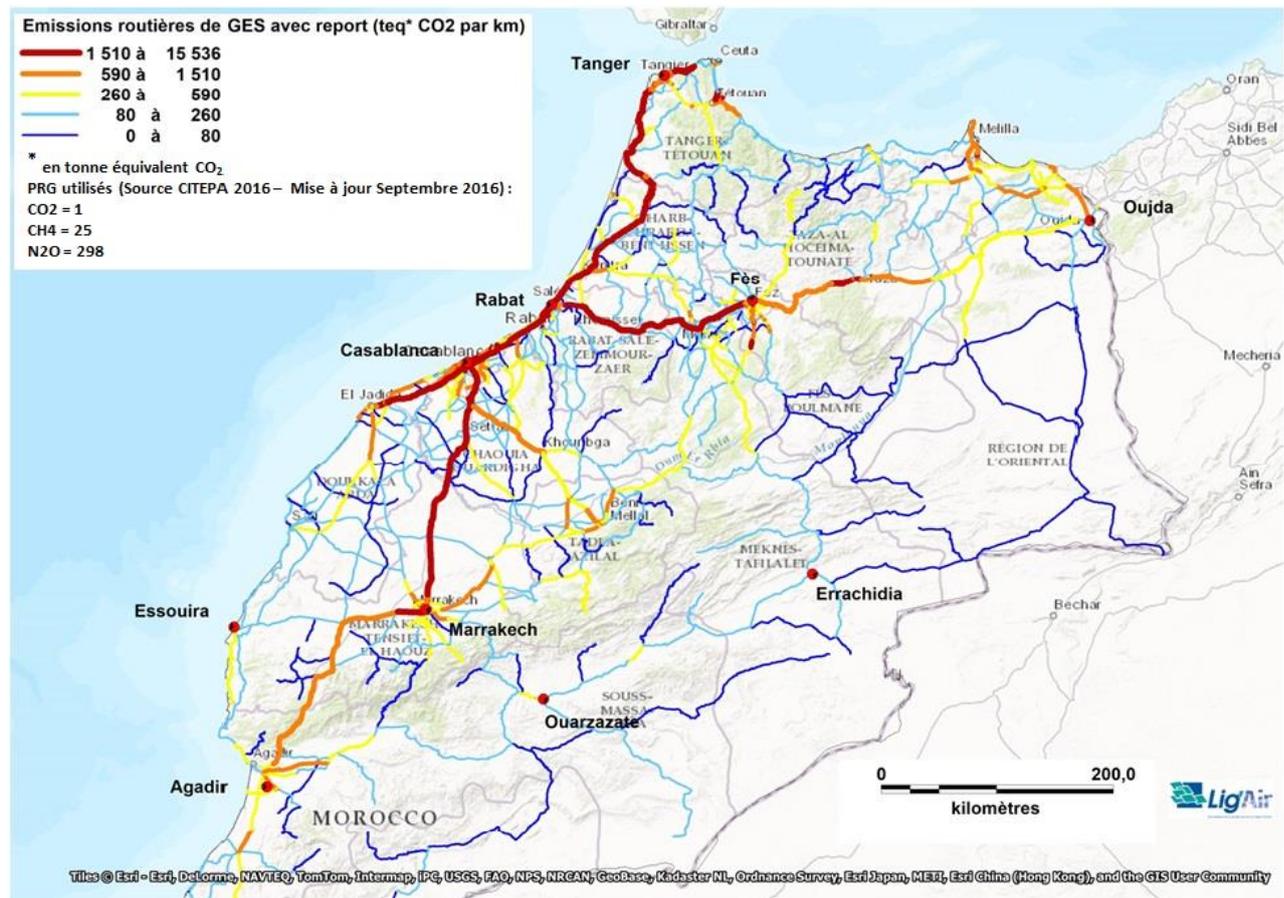


Figure 6 : Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> (en g/km) en fonction de la vitesse (en km/h) pour les véhicules légers (VL) et pour les poids-lourds (PL)

Cette figure montre clairement que les émissions en CO<sub>2</sub> sont plus importantes pour de faibles vitesses (<30 km/h) et de fortes vitesses (>90 km). Au contraire, elles deviennent faibles pour des vitesses de l'ordre de 60 à 90 km/h. Nous constatons également que les émissions de CO<sub>2</sub> issues des poids-lourds sont 4 à 7 fois plus importantes par rapport à celles émises par les véhicules légers.

Il faut noter que les émissions à froid (partie B.2.6) sont considérées comme nulles sur les autoroutes alors qu'elles sont de l'ordre de 29% sur les nationales. De ce fait, les émissions sont alors plus importantes.

La cartographie des émissions routières de GES à l'échelle du Maroc avec la prise en compte du report est située en annexe 7. La cartographie 4 montre les émissions routières de GES avec le report dans la partie nord du Maroc. L'échelle de couleur a volontairement été conservée identique afin de pouvoir effectuer les comparaisons avec les résultats obtenus lors de la phase initiale (carte 1).



Carte 4 : Emissions routières de GES (en teq CO<sub>2</sub> par km) du Maroc après REPORT pour l'année 2014

Elle montre clairement une augmentation des émissions sur les nationales qui ont subi le report de trafic des autoroutes comme sur la nationales N1 entre Tanger et Rabat, N6 entre Rabat et Fès et N9 entre Casablanca et Marrakech.

Cette différence s'atténue en fin de sections autoroutières A2 vers Oujda et A7 vers Agadir pour lesquelles le report du trafic autoroutier sur les nationales semble avoir un impact plus faible en raison d'un trafic reporté plus faible (inférieur à 5000 véhicules par jour).

### D.3. Les émissions de Polluants à Effets Sanitaires

Le tableau 10 dresse le bilan des émissions des PES (NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>) pour l'année 2014 calculées sur l'ensemble des axes routiers considérées dans le cadre de cette étude avec la prise en compte du report de trafic autoroutier sur les nationales adjacentes. Comme pour les GES, les émissions issues des autoroutes ont été mises à zéro puisque selon l'hypothèse étudiée, elle ne comporte plus de trafic. Par contre, concernant les nationales, la valeur indiquée intègre toutes les voies nationales à savoir les voies longeant les autoroutes ayant un report de trafic ainsi que les autres voies nationales non concernées par le report dont les émissions restent inchangées. Les émissions des Autres voies (régionales, provinciales) n'ont pas été modifiées.

Le tableau 10 montre une augmentation globale des émissions à l'échelle du Maroc avec le report du trafic. Cette hausse est de 12,8% pour les NO<sub>x</sub>, de 7,3% pour les PM<sub>10</sub> et de 5,7% pour les PM<sub>2,5</sub>. Les explications de l'augmentation des émissions pour ces Polluants à Effets Sanitaires sont identiques à celles décrites dans le paragraphe D.2 pour les GES.

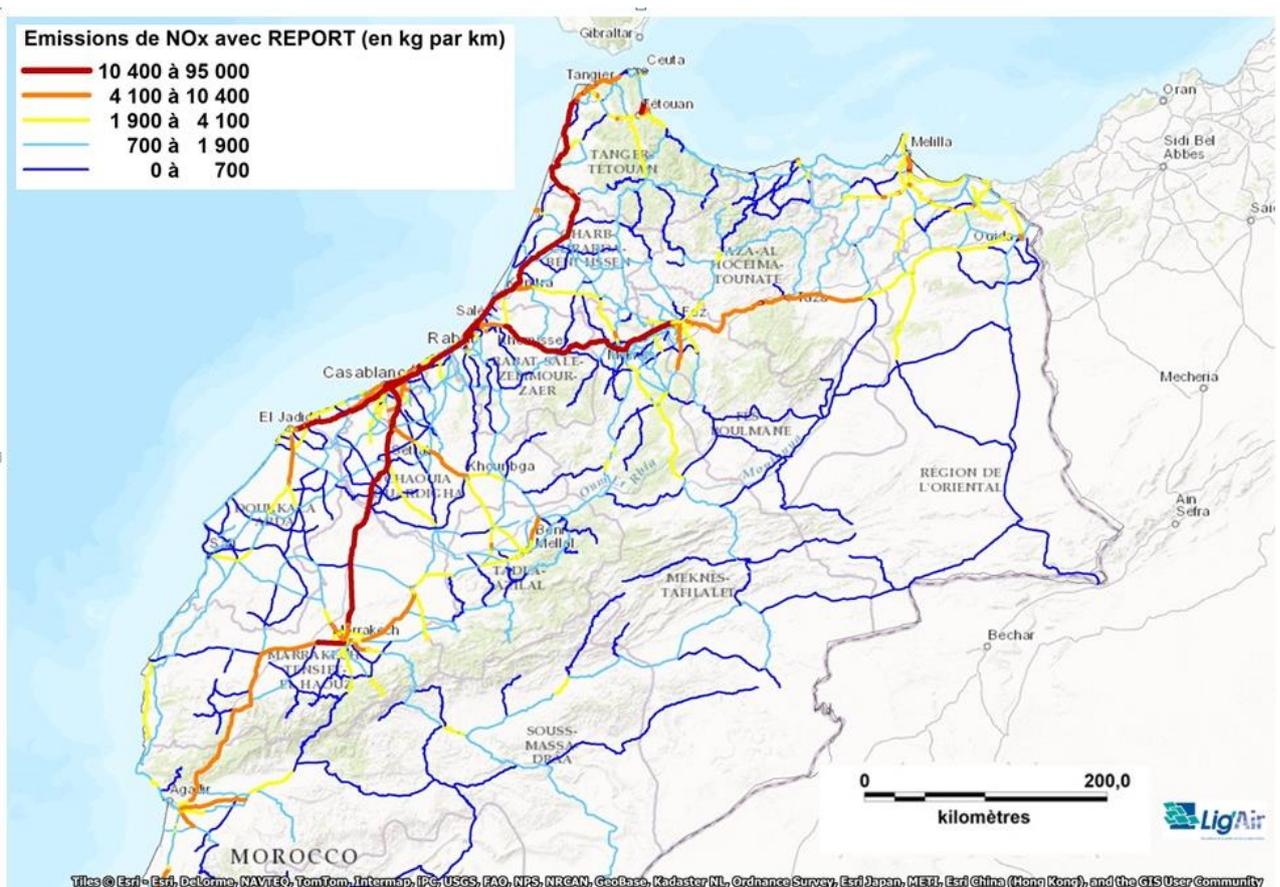
| Typologie de routes                                      | NOx (t)       | PM <sub>10</sub> (t) | PM <sub>2,5</sub> (t) |
|--|---------------|----------------------|-----------------------|
| Autoroutes   | 0             | 0                    | 0                     |
| Nationales dont reportée                                 | 38 100        | 1 990                | 1 580                 |
| Autres (inchangées)                                      | 13 000        | 820                  | 630                   |
| <b>TOTAL EMISSIONS PES</b>                               | <b>51 100</b> | <b>2 810</b>         | <b>2 210</b>          |
| <b>Hausse des émissions par rapport à l'état initial</b> | <b>+12,8%</b> | <b>+7,3%</b>         | <b>+5.7%</b>          |

Tableau 10 : Emissions routières totales après report de NOx, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> (exprimés en tonnes) pour l'année 2014

Les cartographies des émissions routières de PM<sub>10</sub> et de PM<sub>2,5</sub> avec la prise en compte du report du trafic autoroutier sur les nationales adjacentes sont situées en Annexe 8. La cartographie 5 montre les émissions routières de NOx avec le report.

Comme pour les GES, cette carte montre clairement une augmentation des émissions sur les nationales qui ont subi le report de trafic des autoroutes telles que la nationale N1 entre Tanger et Rabat, la nationale N6 entre Rabat et Fès et la nationale N9 entre Casablanca et Marrakech.

Cette différence va en s'atténuant sur la fin des sections autoroutes A2 vers Oujda, et A7 vers Agadir.



Carte 5 : Emissions routières de NOx (en kg par km) du Maroc après REPORT pour l'année 2014

## E. Limites de l'étude et recommandations

---

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude constituent des résultats préliminaires. Le calcul des émissions de GES et de PES du transport routier a nécessité de prendre en compte certaines hypothèses pour pallier le manque d'informations précises sur certains paramètres :

- 1) Par manque d'information, le parc automobile français 2010 a été utilisé pour cette étude. Ainsi, les émissions calculées seraient plus réalistes avec l'utilisation d'un parc automobile spécifique au Maroc avec la connaissance notamment des ratios essence et diesel constituant le parc.
- 2) Les profils temporels de la circulation française (un pour l'autoroute et un différent pour les autres voies) ont été utilisés dans cette étude. Ainsi, une meilleure connaissance du profil temporel de la circulation spécifique en fonction de la voirie pourra affiner les émissions. Ce paramètre est important pour l'apparition des phénomènes de congestion et donc in fine sur les émissions routières.
- 3) Une connaissance précise de la vitesse autorisée pour certains brins pourra apporter une meilleure qualité dans le calcul des émissions notamment les brins routiers impliqués par des changements de vitesse (entrée en ville, zone de décélération, ...).
- 4) Certains pourcentages poids-lourds fournis par le rapport du Ministère n'ont pas été utilisés car supposés trop importants (>50%). Dans ce cas, la moyenne des pourcentages poids-lourds en fonction du type de voie a été appliquée (environ 15% pour les nationales et 13% pour les autres voies).
- 5) Par manque d'information sur l'altitude, la pente a été considérée comme nulle sur l'ensemble des brins pris en compte dans l'étude. La connaissance précise de ce paramètre pourra affiner les émissions en particulier dans les zones montagneuses où les émissions actuelles peuvent être sous-estimées.
- 6) La connaissance sur la circulation des bus et des autocars pourront affiner les calculs des émissions.
- 7) Le nombre de voies a été paramétré par défaut à 2 pour toutes les voies à double sens et à 1 voie pour les voies à simple sens. En ce qui concerne les autoroutes, chaque sens a été mis à 2 voies (autoroute 2x2 voies) à l'exception de l'autoroute A3 entre Rabat et Casablanca (2x3 voies). La connaissance exacte du nombre de voies de chacun des brins routiers améliorera le calcul des émissions.
- 8) Malgré le soin apporté à la mise à jour de la table SIG des brins routiers marocains, des incertitudes demeurent :
  - certains brins routiers ne sont pas jointifs,
  - certains brins routiers ont des longueurs trop importantes et ne présentent pas de points d'arrêts au niveau des intersections. Un découpage de ces brins aux intersections serait plus approprié mais nécessiterait un temps de travail considérable.

**En résumé :**

| <b>Paramètres à améliorer</b>              | <b>Recommandations</b>  |
|--|---|
| <b>Parc automobile</b>                     | <b>Prendre un parc automobile spécifique au Maroc</b>   |
| <b>Profils temporels de la circulation</b> | <b>Utiliser les profils temporels de la circulation spécifique au Maroc et pour chaque type de voies (en particulier pour les autoroutes, les nationales)</b> |
| <b>Vitesse autorisée</b>                   | <b>Connaître précisément la vitesse autorisée sur chacun des axes routiers</b>  |
| <b>Pourcentage poids-lourds</b>            | <b>Améliorer la mesure des % des poids-lourds</b>   |
| <b>Pente</b>                               | <b>Connaître l'altitude des axes routiers en particulier dans les zones montagneuses</b>  |
| <b>Bus et autocars</b>                     | <b>Connaître la circulation des bus et autocars et l'intégrer dans le calcul des émissions routières</b>  |
| <b>Nombre de voies</b>                     | <b>Affiner le nombre de voies pour chaque brin routier</b>  |

*Tableau 11 : Synthèse des recommandations pour améliorer le calcul des émissions routières*

## F. Conclusion

---

La société ADM a sollicité Lig'Air, réseau de surveillance de la qualité de l'air en région Centre-Val de Loire (France) dans l'objectif d'évaluer les émissions du secteur routier sur les autoroutes marocaines.

Pour cette étude Lig'Air a eu dans un premier temps pour missions :

- d'évaluer les émissions routières de Gaz à Effet de Serre (GES) au niveau des autoroutes, de produire une cartographie du réseau autoroutier sous Système d'Information Géographique (SIG) pour les GES, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et le méthane (CH<sub>4</sub>),
- d'évaluer les émissions routières de Polluants à Effets Sanitaires (PES) et de produire une cartographie du réseau autoroutier sous Système d'Information Géographique (SIG) pour les polluants suivants : oxydes d'azote (NOx), particules en suspension (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>),

Dans un second temps, Lig'Air devait :

- évaluer les émissions routières en Gaz à Effet de Serre (GES) avec le report de la circulation des autoroutes sur les nationales adjacentes (cartographie),
- évaluer les émissions routières de Polluants à Effets Sanitaires (PES) avec le report de la circulation des autoroutes sur les nationales adjacentes (cartographie).

La première étape a conduit à calculer les émissions routières pour l'année 2014 en utilisant le logiciel Circul'air. Les calculs des émissions routières ont concerné 28 183 km de routes dont 3 440 km d'autoroutes du réseau principal marocain. Les principaux résultats conduisent pour l'année 2014 à des émissions de 7 825 600 teq CO<sub>2</sub> de GES, de 45 300 tonnes de NOx et 2620 tonnes de PM<sub>10</sub>, les autoroutes contribuant à elles seules à environ 30% des émissions de GES totales contre 40% pour les nationales. La contribution des poids-lourds est de 43% des émissions totales en GES. Une étude cartographique a également été réalisée mettant en évidence les autoroutes les plus émettrices comme l'autoroute A3 qui émet le plus de GES ainsi que de PES.

La deuxième étape a consisté à calculer les émissions pour l'année 2014 des mêmes polluants sur les nationales longeant les autoroutes sur lesquelles le trafic de celles-ci a été reporté. Les principaux résultats conduisent pour l'année 2014 à une émission de 8 577 300 teq CO<sub>2</sub> de GES soit une augmentation de 9,6%, de 51 100 tonnes de NOx soit une hausse de 12,8% et de 2 810 tonnes de PM<sub>10</sub> soit une hausse de 7,3% par rapport à la situation initiale. Une étude cartographique a permis d'identifier les nationales subissant une augmentation importante de leurs émissions.

Le report du trafic autoroutier sur les nationales adjacentes engendre une augmentation importante des émissions de GES et de PES (NOx, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>). Le report de trafic sur des voies plus étroites entraîne localement des congestions de circulation qui conduisent à des hausses d'émissions.

Ces résultats constituent des résultats préliminaires. Par manque d'informations et dans l'objectif d'affiner le calcul des émissions routières au Maroc, Lig'Air recommande fortement dans un second temps d'appliquer le parc automobile spécifique au Maroc.

## G. Table des illustrations

---

### G.1. Tableaux

---

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Stations météorologiques utilisées dans le cadre de l'étude.....   | 7  |
| Tableau 2 : Typologie des axes routiers pris en compte dans l'étude.....   | 9  |
| Tableau 3 : Emissions routières totales de GES, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O (exprimées en teq CO <sub>2</sub> ) pour l'année 2014 .....                                | 10 |
| Tableau 4 : Emissions routières de GES, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O par km (exprimés en teq CO <sub>2</sub> par km) pour l'année 2014 .....                            | 12 |
| Tableau 5 : Emissions routières de GES, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O en fonction de la typologie de véhicules (exprimés en teq CO <sub>2</sub> ) pour l'année 2014..... | 12 |
| Tableau 6 : Emissions routières totales de NOx, PM <sub>10</sub> et PM <sub>25</sub> (exprimés en tonnes) pour l'année 2014 .....  | 12 |
| Tableau 7 : Emissions routières de NOx, PM <sub>10</sub> et PM <sub>2,5</sub> (en tonnes par km) pour l'année 2014 .....   | 14 |
| Tableau 8 : Emissions routières de NOx, PM <sub>10</sub> et PM <sub>2,5</sub> en fonction de la typologie de véhicules (exprimés en t) pour l'année 2014 .....                                   | 14 |
| Tableau 9 : Emissions routières totales de GES après report, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O (exprimés en teq CO <sub>2</sub> ) pour l'année 2014 .....                    | 15 |
| Tableau 10 : Emissions routières totales après report de NOx, PM <sub>10</sub> et PM <sub>25</sub> (exprimés en tonnes) pour l'année 2014 .....  | 18 |
| Tableau 11 : Synthèse des recommandations pour améliorer le calcul des émissions routières .....   | 20 |

### G.2. Figures

---

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Schéma du calcul des émissions du transport routier .....   | 4  |
| Figure 2: Notion de brins routiers .....   | 6  |
| Figure 3 : Visualisation de l'onglet Info_Tronçon contenant l'ensemble des caractéristiques de chacun des brins routiers .....   | 8  |
| Figure 4 : Contribution de chaque typologie de routes dans les émissions routières totales de GES, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O pour l'année 2014 ..... | 10 |
| Figure 5 : Contribution de chaque typologie de routes dans les émissions routières totales de NOx, PM <sub>10</sub> et PM <sub>2,5</sub> pour l'année 2014 .....                 | 13 |
| Figure 6 : Evolution des émissions de CO <sub>2</sub> (en g/km) en fonction de la vitesse (en km/h) pour les véhicules légers (VL) et pour les poids-lourds (PL) .....           | 16 |

### G.3. Cartes

---

|   |    |
|---|----|
| Carte 1 : Emissions routières de GES (en teq CO <sub>2</sub> par km) du Maroc pour l'année 2014.....                          | 11 |
| Carte 2 : Emissions routières de GES issues uniquement des autoroutes (en teq CO <sub>2</sub> par km) pour l'année 2014 ..... | 11 |
| Carte 3 : Emissions routières de NOx (en kg par km) du Maroc pour l'année 2014.....   | 13 |
| Carte 4 : Emissions routières de GES (en teq CO <sub>2</sub> par km) du Maroc après REPORT pour l'année 2014 .....            | 17 |
| Carte 5 : Emissions routières de NOx (en kg par km) du Maroc après REPORT pour l'année 2014 .....                             | 18 |

## H. Bibliographie

---

**Circul'Air 3.0 - Notice d'emploi du logiciel** [Rapport] / aut. ASPA Association pour la Surveillance et l'étude de la Pollution Atmosphérique en Alsace. - 2012.

**Guide méthodologique pour l'élaboration des inventaires territoriaux des émissions atmosphériques** [Rapport] / aut. Ministère de l'Ecologie du Développement durable et de l'Energie. - 2012.

**Trafic Routier 2014** [Rapport] / aut. Ministère de l'Équipement du Transport et de la Logistique Direction des routes. - 2014.

## Annexes

---

### Annexe 1 : Origines et effets des polluants (Source : CITEPA)

---

## GAZ A EFFET DE SERRE (GES)

### Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)

#### Origine du polluant

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est un gaz incolore et inodore, induit principalement par la combustion des combustibles qu'ils soient d'origine fossile ou d'origine biomasse dans les secteurs résidentiel et tertiaire, transports et industriels. En France, cette combustion représente de l'ordre de 95% des émissions totales hors Utilisation des Terres, Changement d'affectation des Terres et Foresterie (UTCATF). Il est aussi émis naturellement par la respiration des êtres vivants, les feux de forêts et les éruptions volcaniques.

Une partie de ces émissions est absorbée par des réservoirs naturels ou artificiels appelés « puits », constitués principalement des océans, des forêts et des sols.

#### Effet du polluant

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est un gaz peu toxique, à faible dose. A forte dose, il peut provoquer des malaises, des maux de tête et des asphyxies par remplacement de l'oxygène de l'air. Il peut également perturber le rythme cardiaque et la pression sanguine.

Quant à ses effets sur l'environnement, le CO<sub>2</sub> est l'un des principaux gaz à effet de serre. Il contribue à hauteur de 69% aux émissions de gaz à effet de serre en France en 2014 (UTCATF\* inclus). L'accroissement rapide de sa concentration dans l'atmosphère est lié à l'augmentation de la consommation d'énergie fossile et à la diminution des couverts forestiers à l'échelle mondiale (une forêt de type tropical absorbe de 1 à 2 kg de CO<sub>2</sub> par m<sup>2</sup> et par an tandis qu'une forêt européenne ou un champ cultivé n'absorbe que de 0,2 à 0,5 kg de CO<sub>2</sub> par m<sup>2</sup> et par an). Le CO<sub>2</sub> a aussi un impact important sur l'acidification des océans. En effet, l'océan absorbe le CO<sub>2</sub> augmentant ainsi son acidité (baisse du pH) et menaçant un nombre important d'espèces marines.

### Méthane (CH<sub>4</sub>)

#### Origine du polluant

Le méthane (CH<sub>4</sub>) occupe une place à part parmi les composés organiques volatils (COV). Il est produit essentiellement de manière biologique.

La principale source émettrice est le secteur de l'agriculture, en particulier du fait de la fermentation entérique et des déjections animales.

Parmi les autres sources émettrices :

- l'exploitation des mines de charbon (cessation progressive de l'activité d'exploitation des mines de charbon au début des années 2000, toutefois le charbon non extrait continue à émettre du CH<sub>4</sub>),
- le transport/distribution du gaz naturel (programmes de remplacement des tronçons les plus vétustes du réseau gazier)
- le stockage des déchets non dangereux,
- les bactéries dans les zones humides, telles que les rizières et les marais.

## Effet du polluant

Le CH<sub>4</sub> est incolore, inodore et non toxique. A très haute concentration, il peut cependant provoquer des asphyxies en prenant la place de l'oxygène dans l'air.

Du point de vue environnemental, il est un gaz à effet de serre. Son pouvoir de réchauffement global (PRG) est de 25, c'est-à-dire 25 fois le PRG du CO<sub>2</sub> qui sert de référence (PRG CO<sub>2</sub> = 1) (valeur PRG du quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) de 2007). C'est le deuxième plus important gaz à effet de serre réglementé par le Protocole de Kyoto à contribuer au réchauffement de la planète après le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

## Protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O)

### Origine du polluant

Bien que non traditionnellement inclus dans les NO<sub>x</sub>, le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), également appelé oxyde nitreux, est un composé oxygéné de l'azote. L'agriculture est la principale source d'émission de N<sub>2</sub>O, en particulier du fait des apports azotés sur les sols cultivés avec l'épandage des fertilisants minéraux et d'origine animale (engrais, fumier, lisier).

Une petite partie des émissions de N<sub>2</sub>O est attribuée au trafic routier, en particulier aux véhicules équipés de pots catalytiques, et à quelques procédés industriels tels que la fabrication d'acide adipique, d'acide glyoxylique et d'acide nitrique.

### Effet du polluant

Le N<sub>2</sub>O est utilisé en médecine pour ses propriétés anesthésiques. A forte dose, il entraîne l'euphorie et des troubles de la perception visuelle et auditive. Il possède un effet sédatif, et provoque également vertiges, angoisse, troubles digestifs (nausées, vomissements). Enfin, il peut entraîner des troubles neurologiques (tremblements, coordination des mouvements).

Du point de vue de l'environnement, le protoxyde d'azote est un puissant gaz à effet de serre. Son pouvoir de réchauffement global (PRG) est de 298, c'est-à-dire 298 fois le PRG du CO<sub>2</sub> qui sert de référence (PRG CO<sub>2</sub> = 1) (valeur PRG du quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) de 2007). C'est le troisième plus important gaz à effet de serre réglementé par le Protocole de Kyoto à contribuer au réchauffement de la planète après le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et le méthane (CH<sub>4</sub>).

## GAZ A EFFETS SANITAIRES (PES)

### Oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)

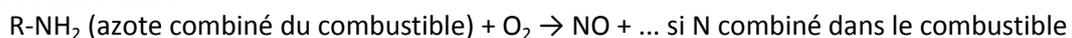
#### Origine du polluant

Les oxydes d'azote (communément définis comme NO<sub>x</sub> = NO + NO<sub>2</sub>) proviennent, comme le SO<sub>2</sub>, essentiellement de la combustion des combustibles fossiles et de quelques procédés industriels (production d'acide nitrique, fabrication d'engrais, traitement de surfaces, etc.). Ils sont principalement formés dans les chambres de combustion et ont trois origines (mécanismes décrits sous forme simplifiée) :

#### origine thermique



#### origine combustible



#### NO prompt



Le NO se transforme en présence d'oxygène en NO<sub>2</sub> (de 0,5 à 10%) dans le foyer. Cette réaction se poursuit lentement dans l'atmosphère et explique, dans le cas des villes à forte circulation, la couleur brunâtre des couches d'air pollué situées à quelques centaines de mètres d'altitude (action conjointe des poussières). Les NO<sub>x</sub> interviennent également dans la formation des oxydants photochimiques (ozone troposphérique) et par effet indirect dans l'accroissement de l'effet de serre.

Les principaux émetteurs de NO<sub>x</sub> sont le transport routier (d'où une politique de réduction au moyen de pots catalytiques par exemple) et les grandes installations de combustion. Volcans, orages, feux de forêts contribuent aussi aux émissions de NO<sub>x</sub>.

### Effet du polluant

Le NO<sub>2</sub> est toxique (40 fois plus que CO, 4 fois plus que NO). Il pénètre profondément dans les poumons. Les pics de concentrations sont plus nocifs qu'une même dose sur une longue période. Le NO est un gaz irritant pour les bronches, il réduit le pouvoir oxygénateur du sang.

Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) participent à l'acidification de l'air, donc des pluies (via la formation d'acide nitrique). Ce sont également des précurseurs d'ozone, également néfaste pour l'environnement et la santé.

## Particules en suspension dont PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>

### Origine du polluant

Les particules sont un ensemble très hétérogène de composés du fait de la diversité de leur composition chimique, de leur état (solide ou liquide) et de leur taille (caractérisée notamment par leur diamètre).

Les particules sont différenciées selon leur taille :

- les Particules Totales en Suspension (appelées TSP pour Total Suspended Particulates puisque l'acronyme en français (PTS) n'est pas utilisé) regroupent l'ensemble des particules quelle que soit leur taille,
- les PM<sub>10</sub> : particules dont le diamètre est inférieur à 10 µm (microns),
- les PM<sub>2,5</sub> : particules dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm, les émissions de Carbone Suie (ou "Black Carbon" (BC)) sont basées sur une spéciation chimique des émissions de PM<sub>2,5</sub>.
- les PM<sub>1,0</sub> : particules dont le diamètre est inférieur à 1 µm.

Les particules comprises entre 2,5 et 10 microns sont appelées des particules grossières. Les particules de moins de 2,5 microns sont nommées particules fines et incluent les particules ultrafines de diamètre inférieur à 0,1 µm (PM<sub>0,1</sub>).

### Effet du polluant

Du point de vue de la santé, pour des raisons physiologiques et psychologiques, la pollution par les particules a été très tôt ressentie par les populations et a fait l'objet de réglementations depuis fort longtemps bien que la toxicité soit souvent moindre que pour de nombreux constituants gazeux. Cette dernière affirmation doit bien entendu être modulée selon la nature chimique des particules et leur granulométrie (fines poussières < 2,5 µm, fibres et poussières d'amiante, etc.). Leur rôle a été démontré dans certaines atteintes fonctionnelles respiratoires, le déclenchement de crises d'asthme et la hausse du nombre de décès pour cause cardio-vasculaire ou respiratoire, notamment chez les sujets sensibles.

Les particules les plus "grosses" (> 10 µm), visibles à l'œil nu, ne sont pas les plus inquiétantes pour la santé. Retenues par les voies aériennes supérieures (nez, gorge), elles ne pénètrent pas dans l'appareil respiratoire. Les particules de diamètre compris entre 2,5 et 10 µm atteignent les parties supérieures du système respiratoire et peuvent être éliminées par filtration des cils de l'arbre respiratoire et la toux. Les particules les plus fines (< 2,5 µm) sont les plus dangereuses. Capables de pénétrer au plus profond de

l'appareil respiratoire, elles atteignent les voies aériennes terminales, se déposent par sédimentation ou pénètrent dans le système sanguin. Ces particules peuvent véhiculer des composés toxiques, allergènes, mutagènes ou cancérigènes, comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques et les métaux lourds.

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) estime que plus de deux millions de personnes meurent chaque année du fait de l'inhalation de particules fines présentes dans l'air intérieur et extérieur. Elle relevait qu'en 2000 l'exposition chronique aux particules fines ( $PM_{2,5}$ ) était à l'origine d'environ 350 000 décès prématurés chaque année en Europe dont 42 000 en France, ce qui correspond à une perte moyenne d'espérance de vie de 8,2 mois. Elle évalue qu'en 2008, le nombre de décès mondiaux prématurés attribuables à la pollution atmosphérique en ville atteint 1,34 million, et que le respect des lignes directrices de l'OMS aurait épargné 1,09 million de vies.

Du point de vue environnemental, les particules en suspension peuvent réduire la visibilité et influencer le climat en absorbant et en diffusant la lumière. En se déposant, elles salissent et contribuent à la dégradation physique et chimique des matériaux. Accumulées sur les feuilles des végétaux, elles peuvent les étouffer et entraver la photosynthèse.

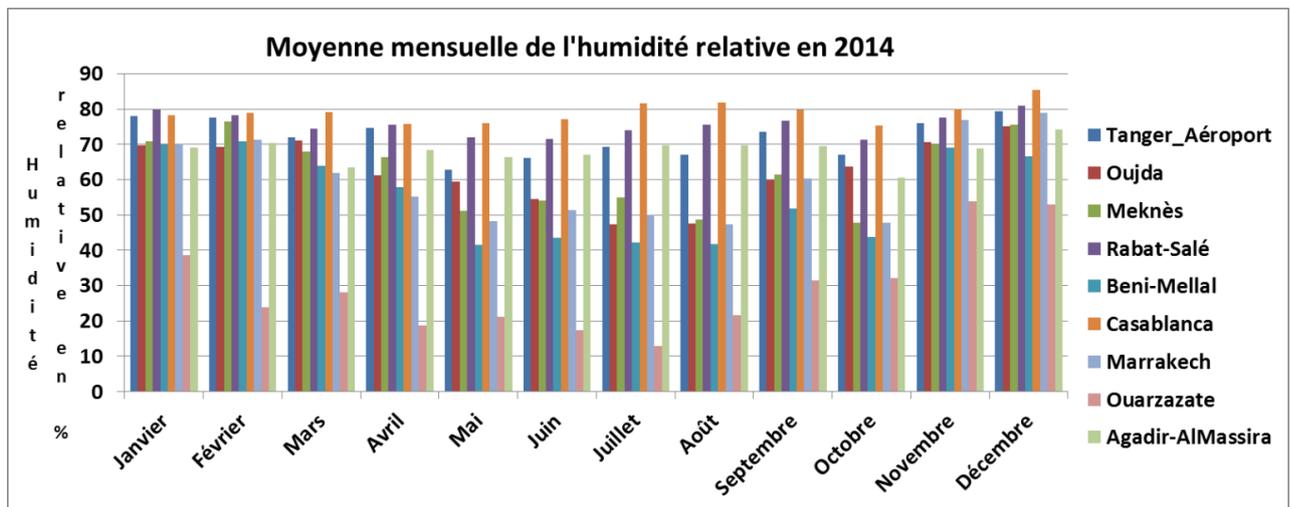
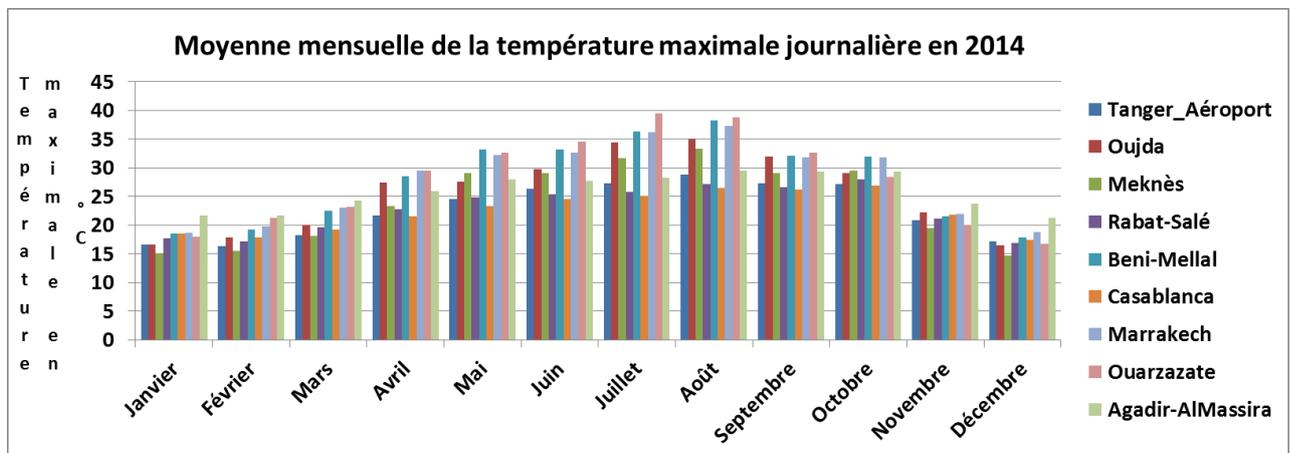
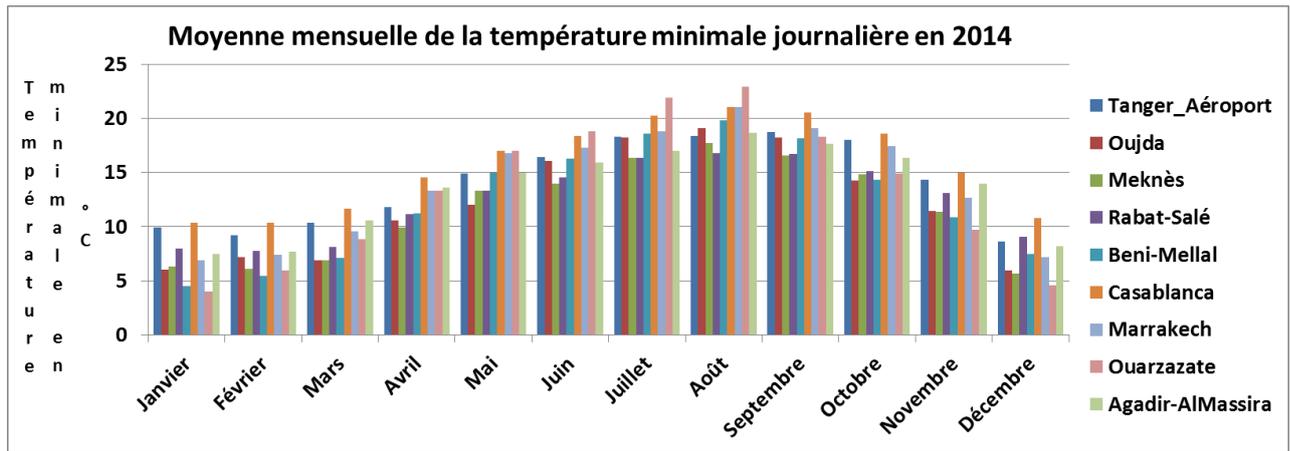
## Annexe 2 : Le parc automobile roulant 2010 (Source : CITEPA)

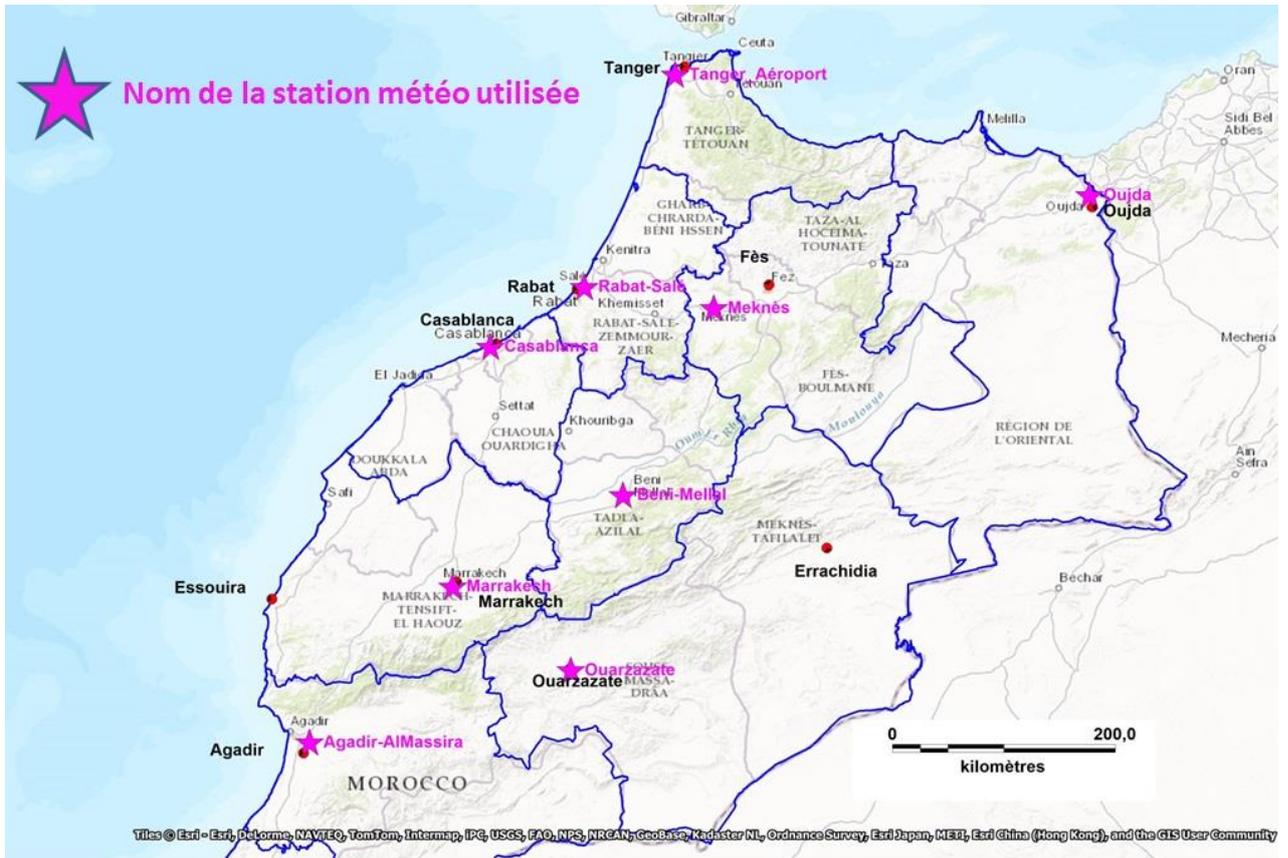
Le parc automobile utilisé correspond aux véhicules roulants en 2010 sur les routes françaises. Il est mis à jour chaque année (en décembre) par le Centre Interprofessionnel d'Etudes de la Pollution Atmosphérique à partir des ventes de véhicules. Il comporte de nombreuses classes de véhicules selon le type de véhicules (VL, VUL, PL, Bus, Autocars, Bus, Mobylettes, Motos), le carburant utilisé (essence ou gazole, électrique, hybride), la norme EURO (ou la date de mise en circulation du véhicule), la cylindrée et le PTAC pour les véhicules lourds. Il est de plus décliné selon le type de voie (route de campagne, route urbaine, autoroute).

Un extrait du parc automobile utilisé dans le logiciel de Circul'air 3.0 est situé en-dessous :

| Type_vehicule | Parc Automobile |        |        |           |                     |         |            |
|---------------|-----------------|--------|--------|-----------|---------------------|---------|------------|
|               | Global          | ville  | route  | autoroute |                     |         |            |
| 1             | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | pre ECE | CC<1.4     |
| 2             | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | pre ECE | 1.4<CC<2.0 |
| 3             | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | pre ECE | CC>2.0     |
| 4             | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | 1500    | CC<1.4     |
| 5             | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | 1500    | 1.4<CC<2.0 |
| 6             | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | 1500    | CC>2.0     |
| 7             | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | 1501    | CC<1.4     |
| 8             | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | 1501    | 1.4<CC<2.0 |
| 9             | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | 1501    | CC>2.0     |
| 10            | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | 1502    | CC<1.4     |
| 11            | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | 1502    | 1.4<CC<2.0 |
| 12            | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | 1502    | CC>2.0     |
| 13            | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | 1503    | CC<1.4     |
| 14            | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | 1503    | 1.4<CC<2.0 |
| 15            | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | 1503    | CC>2.0     |
| 16            | 3,01%           | 3,26%  | 3,26%  | 2,49%     | Vp_essence          | 1504    | CC<1.4     |
| 17            | 2,17%           | 1,99%  | 1,99%  | 2,55%     | Vp_essence          | 1504    | 1.4<CC<2.0 |
| 18            | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | 1504    | CC>2.0     |
| 19            | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | 1505    | CC<1.4     |
| 20            | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | 1505    | 1.4<CC<2.0 |
| 21            | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | 1505    | CC>2.0     |
| 22            | 6,31%           | 6,82%  | 6,82%  | 5,21%     | Vp_essence          | Euro 1  | CC<1.4     |
| 23            | 3,67%           | 3,37%  | 3,37%  | 4,31%     | Vp_essence          | Euro 1  | 1.4<CC<2.0 |
| 24            | 0,82%           | 0,51%  | 0,51%  | 1,50%     | Vp_essence          | Euro 1  | CC>2.0     |
| 25            | 12,18%          | 13,16% | 13,16% | 10,06%    | Vp_essence          | Euro 2  | CC<1.4     |
| 26            | 8,81%           | 8,10%  | 8,10%  | 10,35%    | Vp_essence          | Euro 2  | 1.4<CC<2.0 |
| 27            | 0,92%           | 0,57%  | 0,57%  | 1,68%     | Vp_essence          | Euro 2  | CC>2.0     |
| 28            | 13,13%          | 14,19% | 14,19% | 10,85%    | Vp_essence          | Euro 3  | CC<1.4     |
| 29            | 10,88%          | 9,99%  | 9,99%  | 12,77%    | Vp_essence          | Euro 3  | 1.4<CC<2.0 |
| 30            | 1,32%           | 0,82%  | 0,82%  | 2,40%     | Vp_essence          | Euro 3  | CC>2.0     |
| 31            | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | Euro 4  | CC<0,8     |
| 32            | 23,19%          | 25,06% | 25,06% | 19,16%    | Vp_essence          | Euro 4  | 0,8<CC<1,4 |
| 33            | 10,64%          | 9,78%  | 9,78%  | 12,50%    | Vp_essence          | Euro 4  | 1,4<CC<2,0 |
| 34            | 1,46%           | 0,90%  | 0,90%  | 2,66%     | Vp_essence          | Euro 4  | CC>2,0     |
| 35            | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | Euro 5  | CC<0,8     |
| 36            | 0,72%           | 0,78%  | 0,78%  | 0,60%     | Vp_essence          | Euro 5  | 0,8<CC<1,4 |
| 37            | 0,16%           | 0,15%  | 0,15%  | 0,19%     | Vp_essence          | Euro 5  | 1,4<CC<2,0 |
| 38            | 0,02%           | 0,01%  | 0,01%  | 0,04%     | Vp_essence          | Euro 5  | CC>2,0     |
| 39            | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | Euro 6  | CC<0,8     |
| 40            | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | Euro 6  | 0,8<CC<1,4 |
| 41            | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | Euro 6  | 1,4<CC<2,0 |
| 42            | 0,00%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%     | Vp_essence          | Euro 6  | CC>2,0     |
| 43            | 0,48%           | 0,44%  | 0,44%  | 0,57%     | Vp_Hybrides < 1.6 l | Euro IV |            |
| 44            | 0,10%           | 0,00%  | 0,00%  | 0,11%     | Vp_Hybrides > 1.6 l | Euro IV |            |

### Annexe 3 : Données météorologiques (Source : Infoclimat)





## Annexe 4 : Circul'air 3.0 : Vitesse, pente, capacité totale et nombre froid

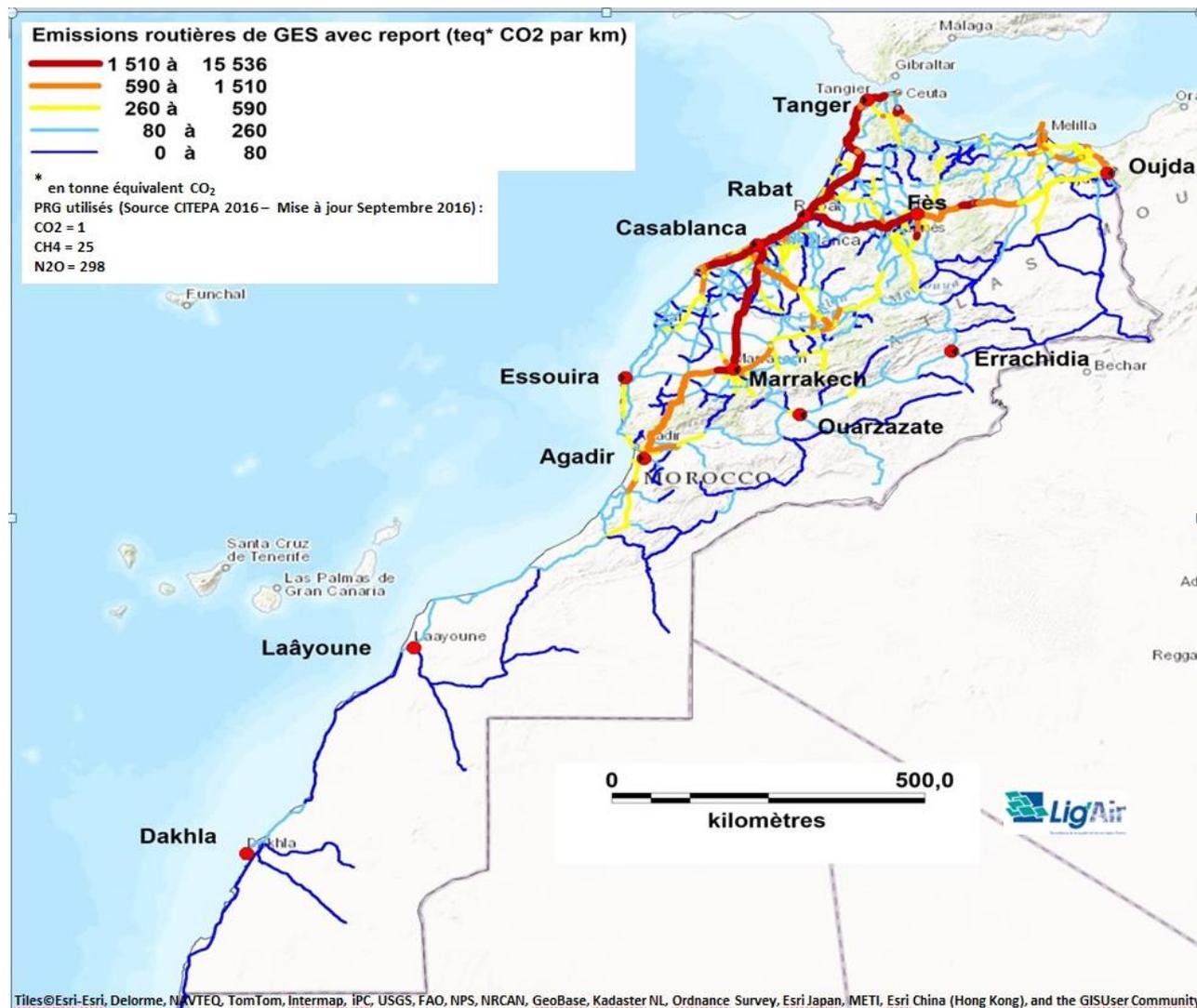
| <b>Catégorie administrative</b> | <b>Vitesse par typologie de routes</b>                 |
|---------------------------------|--|
| 1                               | Autoroute 2x2 voies à 120 km/h                         |
| 2                               | Autoroute 2x2 voies à 100 km/h                         |
| 3                               | Autoroute 2x2 voies à 80 km/h                          |
| 4                               | Autoroute 2x2 voies à 60 km/h                          |
| 5                               | Autoroute 2x2 voies à 40 km/h                          |
| 6                               | Route 2x2 voies à 110 km/h Non utilisé                 |
| 7                               | Route 2x2 voies à 90 km/h Non utilisé                  |
| 8                               | Route 2X1 voie à 80 km/h                               |
| 9                               | Route 2X1 voie à 60 km/h                               |
| 10                              | Route 2X1 voie à 40 km/h                               |
| 11                              | Voie urbaine à 50 km/h Non utilisé                     |
| 12                              | Voie urbaine à 40 km/h (utilisé pour les ronds-points) |

| <b>Catégorie administrative</b> | <b>Capacité 1 voie*</b> |
|---------------------------------|-------------------------|
| 1                               | 1650                    |
| 2                               | 1650                    |
| 3                               | 1650                    |
| 4                               | 1650                    |
| 5                               | 1650                    |
| 6                               | 1300                    |
| 7                               | 1300                    |
| 8                               | 1080                    |
| 9                               | 1080                    |
| 10                              | 1080                    |
| 11                              | 800                     |
| 12                              | 800                     |

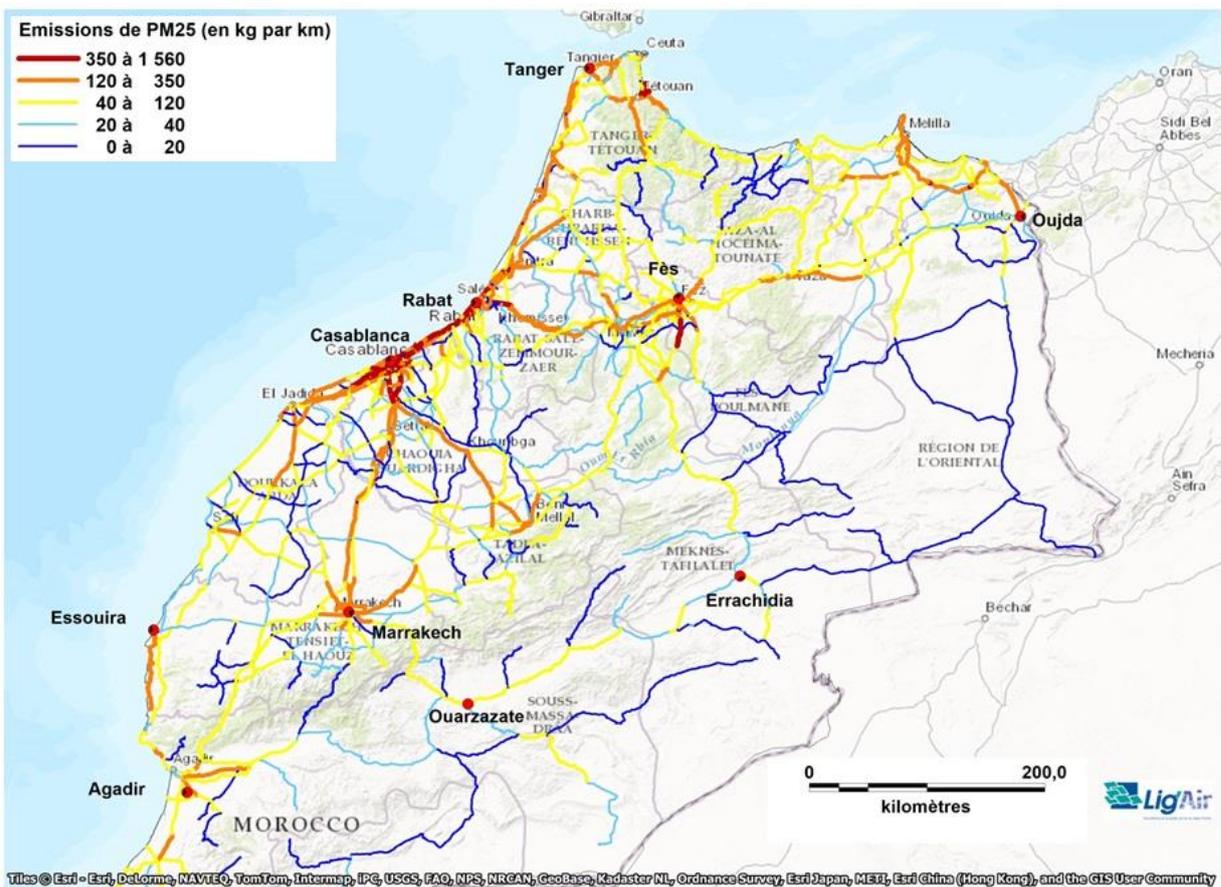
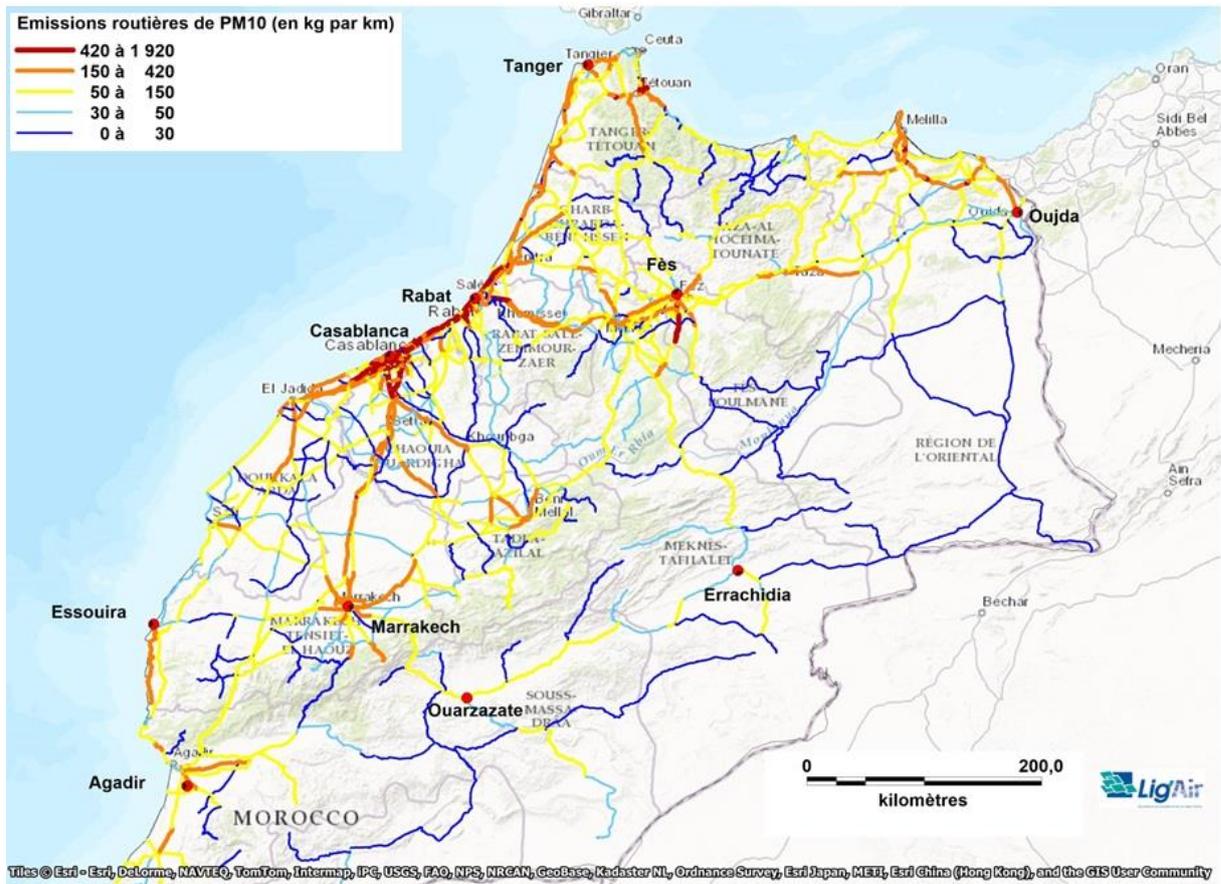
\*A multiplier par le nombre de voies pour obtenir la capacité totale

| <b>Catégorie administrative</b> | <b>Nombre froid</b> |
|---------------------------------|---------------------|
| 1                               | 0                   |
| 2                               | 0                   |
| 3                               | 0                   |
| 4                               | 0                   |
| 5                               | 0                   |
| 6                               | 0,26                |
| 7                               | 0,35                |
| 8                               | 0,29                |
| 9                               | 0,29                |
| 10                              | 0,29                |
| 11                              | 0,41                |
| 12                              | 0,41                |

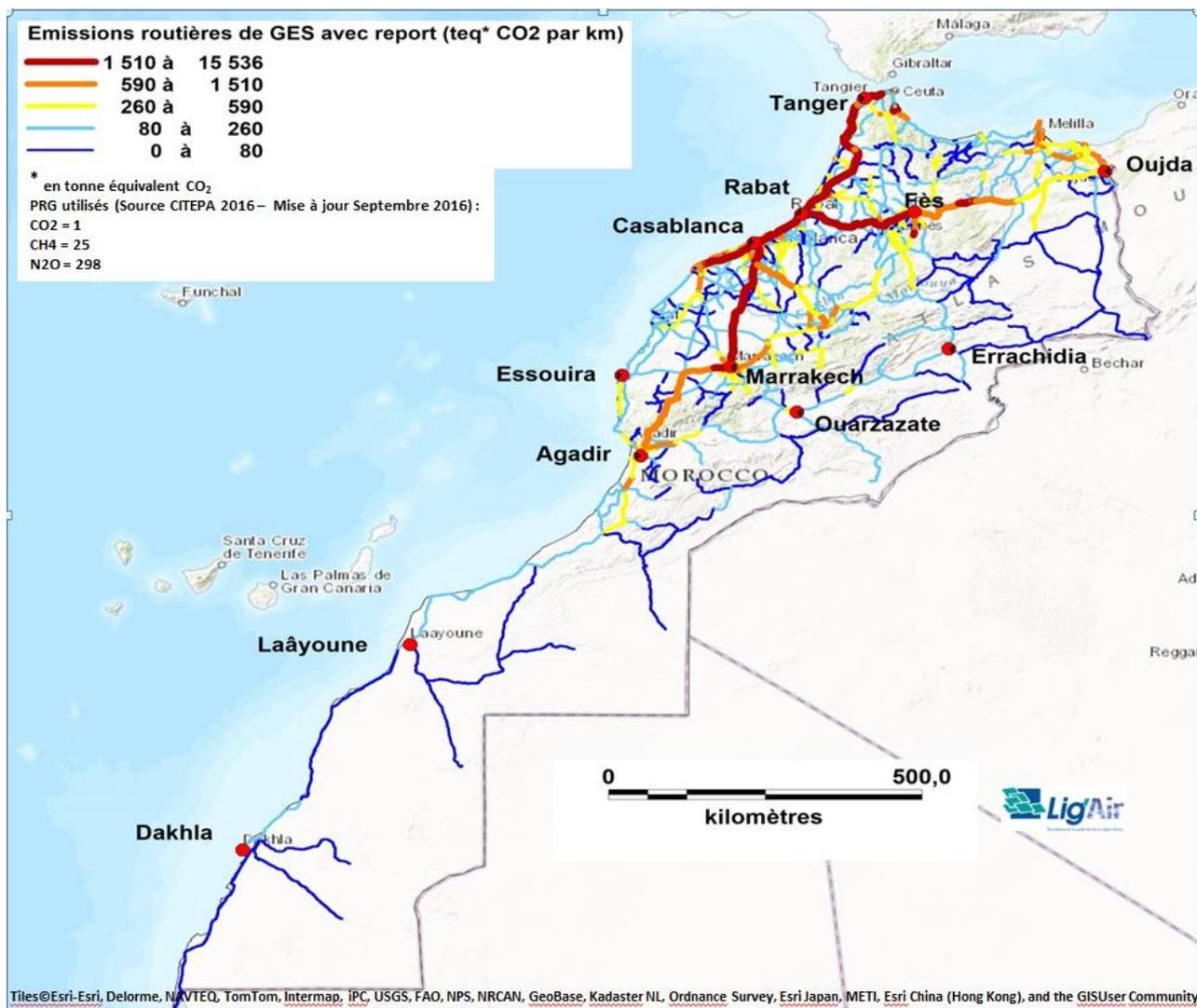
## Annexe 5 : Cartographie des émissions de GES à l'échelle du Maroc avant report pour l'année 2014



## Annexe 6 : Cartographie des émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> avant report pour l'année 2014



## Annexe 7 : Cartographie des émissions de GES à l'échelle du Maroc après REPORT pour l'année 2014



## Annexe 8 : Cartographie des émissions de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> après REPORT pour l'année 2014

