

# Ecocomparateur CFF

## Rapport de référence

Version 1.0, septembre 2010

### Auteur

Matthias Tuchs Schmid  
mtuchs Schmid.ch  
Fellenbergweg 14, 8047 Zurich  
info@mtuchs Schmid.ch

### Révision

Christian Bauer, Paul Scherrer Institut  
OVGA/409, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI  
christian.bauer@psi.ch

### Base de données et méthode

Centre suisse pour les inventaires de cycle de vie écologiques ecoinvent, c/o EMPA  
Lerchenfeldstr. 5, 9014 St-Gall  
info@ecoinvent.org

## Sommaire

<b>Ecocomparateur CFF</b> .....	<b>1</b>
<b>Rapport de référence</b> .....	<b>1</b>
<b>Version 1.0, septembre 2010</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Impact environnemental des transports</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Description de l'écocomparateur</b> .....	<b>4</b>
2.1. Calcul de l'impact environnemental.....	4
2.2. Que peut-on tirer d'un comparatif?.....	4
<b>3. Méthode de bilan pour les facteurs d'émission</b> .....	<b>6</b>
3.1. Processus pris en compte .....	6
<b>4. Indicateurs pour l'évaluation du transport des personnes</b> .....	<b>8</b>
4.1. Energie primaire.....	8
4.2. CO <sub>2</sub> en tant qu'indicateur de l'effet de serre potentiel .....	8
4.3. Poussières fines: PM <sub>10</sub> et PM <sub>2,5</sub> («Particulate matter») .....	8
4.4. Composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) .....	9
4.5. Oxydes d'azote: NO <sub>x</sub> .....	9
4.6. Unités de charge écologique (UCE 06).....	9
<b>5. Bilan des moyens de transport</b> .....	<b>10</b>
5.1. Voiture.....	10
5.2. Transports publics.....	11
5.2.1. Tram et bus régional .....	11
5.2.2. Transport par la route: autocar .....	11
5.2.3. Téléphérique .....	11
5.2.4. Bateau.....	12
5.2.5. Transports ferroviaires suisses: trafic régional, RER et trafic grandes lignes.....	12
5.2.6. Transports ferroviaires suisses: train-autos.....	12
5.2.7. Transports ferroviaires européens .....	12
5.3. Avion .....	13
5.4. Facteurs d'émission utilisés dans l'écocomparateur .....	15
<b>6. Autres bases de données: comparatif écologique et facteurs d'émission de l'outil mobitool ...</b>	<b>15</b>
<b>7. Bibliographie</b> .....	<b>16</b>

## 1. Impact environnemental des transports

En 2008, le trafic motorisé représentait en Suisse 34% du besoin énergétique final, dont 96% imputables au transport routier et 4% imputables aux chemins de fer. En outre, 43,8% des émissions de CO<sub>2</sub> provenaient des transports, compromettant ainsi l'atteinte des objectifs de la Suisse en matière de protection du climat. En effet, contrairement aux émissions de CO<sub>2</sub> dans les secteurs du bâtiment et de la production industrielle, les émissions polluantes des véhicules continuent d'augmenter (BAFU 2011b). Les transports motorisés s'accompagnent par ailleurs d'autres atteintes à l'environnement:

- la pollution de l'air par les émissions (p. ex. poussières fines, oxydes d'azote, dioxyde de soufre, hydrocarbures non méthaniques), avec un impact sur la santé, les plantes, les bâtiments et le milieu aquatique;
- la transformation de paysages naturels / semi-naturels en zones dénuées de toute végétation (par ex. le lit de ballast des lignes ferroviaires classiques) ou en surfaces étanches (routes, lignes ferroviaires dotées d'une voie de roulement fixe);
- l'infiltration de substances liquides et solides dans le sol et le milieu aquatique;
- les nuisances sonores à proximité des infrastructures de transport.

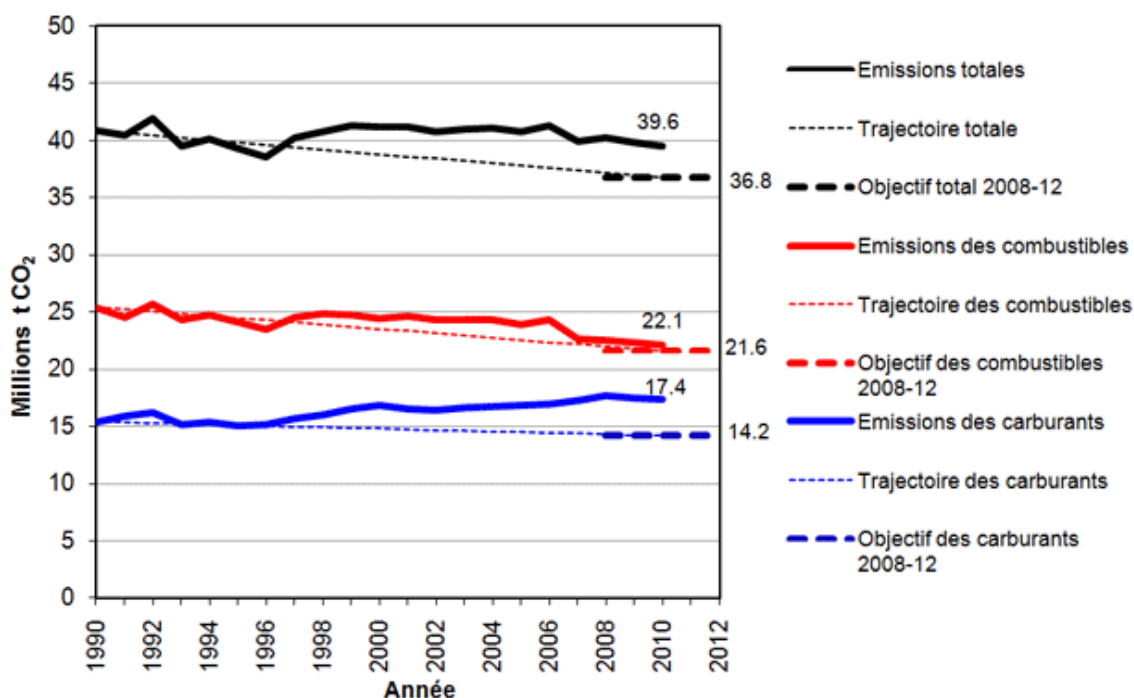
En moyenne, le train est vingt fois plus respectueux du climat qu'une voiture moyenne, pour une consommation d'énergie divisée par quatre. Mais qu'est-ce que cela signifie concrètement, au cas par cas?

L'écocompareur CFF permet maintenant, d'un simple clic, de comparer les moyens de transport pour le parcours de son choix. Ce comparatif tient compte des critères suivants: temps de voyage utilisable<sup>1</sup>, consommation de ressources d'énergie, émissions de gaz à effet de serre et émissions de polluants atmosphériques.

### La Suisse est-elle en phase avec les objectifs du protocole de Kyoto?

Le protocole de Kyoto entré en vigueur en février 2005 prévoit pour la Suisse une réduction de 8% des émissions de gaz à effet de serre par rapport au niveau de 1990. Tandis que le domaine des combustibles s'achemine vers la réalisation des objectifs fixés, le niveau d'émissions dans le domaine des carburants fait apparaître un écart important par rapport à ces objectifs. Au total en 2010, 43,9% des émissions de CO<sub>2</sub> en Suisse provenaient des transports, l'écart par rapport aux objectifs fixés dépassant aujourd'hui les 18%.

Fig. 1.1 Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> selon la loi sur le CO<sub>2</sub> – source: OFEV (2011a)



<sup>1</sup> Le temps de voyage utilisable est calculée comme suit: (durée du trajet selon le mode - temps pour l'entrée / sortie) \*% de temps utilisable. Pour une voiture de course jamais 2 l'entrée et de temps de sortie sont calculées, le total peut être de 10% du temps sont utilisés (par exemple des appels téléphoniques avec des écouteurs). L'entrée et de sortie dans un train prend plus de temps (chaque 5'), alors il peut également 100% du temps de Voyage peuvent être utilisés (par exemple pour la lecture de documents, resp. de travail sur un ordinateur portable)

## 2. Description de l'écomparateur

L'écomparateur CFF permet de calculer le bilan environnemental de chaque correspondance prévue à l'horaire en cliquant simplement sur «Environnement» dans la vue détaillée de la correspondance. Chacun peut ensuite planifier son déplacement en fonction de la variante considérée comme «écologiquement idéale».

Les données des bilans écologiques qui sont utilisées prennent en compte non seulement la consommation d'énergie directe, mais également tous les effets indirects sur l'environnement, depuis la production des matériaux jusqu'à leur élimination. Le comparatif s'appuie sur la base de données des bilans écologiques ecoinvent, qui a été créée conjointement par les établissements d'enseignement supérieur EPFZ, EPFL, PSI ainsi que par d'autres organismes. Grâce à une méthode harmonisée, avec des paramètres de référence et des données de base identiques, il est possible d'établir un comparatif juste entre les différents moyens de transport.

### 2.1. Calcul de l'impact environnemental

En cliquant simplement sur «Environnement» dans la vue détaillée d'une correspondance, on obtient immédiatement le bilan environnemental de son voyage. Le calcul s'effectue en trois étapes:

- L'itinéraire entré est subdivisé en différents tronçons à chacun desquels est affecté un moyen de transport. Par exemple, un voyage en train de Stäfa, située au bord du lac de Zurich, à Berne comprend un trajet en RER, puis en train grandes lignes. Pour un trajet en voiture, le système opère une distinction entre cycle urbain, cycle extra-urbain et cycle autoroutier<sup>2</sup>.
- La longueur de chaque tronçon est calculée. Pour les parcours en train, le calcul s'appuie sur les données horaires du système MERITS, de l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC)<sup>3</sup>. Il n'est pas tenu compte des tronçons électrifiés sur lesquels circulent des locomotives diesel. Pour la voiture, la distance est déterminée sur la base des données NAVTEQ (Knörr 2008a).
- La dernière étape consiste à relier les tronçons ainsi calculés aux différents facteurs d'émission des moyens de transport et à les additionner. Les facteurs d'émission utilisés s'appuient sur les bilans écologiques existants, et intègrent l'impact environnemental généré par voyageur-kilomètre avec le moyen de transport sélectionné.

### 2.2. Que peut-on tirer d'un comparatif?

Il existe des différences importantes entre le transport individuel motorisé et les transports publics. Ainsi, les transports publics mettent des solutions de mobilité à la disposition de tous, sans discrimination, et font partie intégrante du service public. Les transports publics fonctionnent en outre à l'intérieur d'une période d'horaire définie, selon un rythme régulier et indépendamment de la fréquentation, ce qui n'est pas le cas de la voiture. C'est un élément important pour l'établissement du comparatif. On peut généralement distinguer deux perspectives:

- Dans le choix du moyen de transport individuel, le recours à la voiture entraîne le déplacement d'un moyen de transport supplémentaire. Comme les transports publics circulent selon un horaire, on peut p. ex., en tant que voyageur, décider de prendre le train qui, dans cette perspective à court terme, circule de toute façon indépendamment de sa décision. En d'autres termes: même si l'écomparateur indique qu'avec les paramètres sélectionnés, le moyen de transport public choisi entraîne des émissions plus importantes, un trajet en voiture induit en réalité une atteinte supplémentaire à l'environnement<sup>4</sup>.
- En revanche, si l'on effectue une comparaison globale des systèmes de transport ou de l'effet à long terme des décisions en matière de mobilité, il est judicieux d'effectuer un comparatif individuel, autrement dit par personne, de l'impact environnemental des différents moyens de transport. Dans une perspective à plus long terme, la décision individuelle d'opter ou non pour les transports publics influe sur le nombre de véhicules proposés qui peut évoluer à la hausse ou à la baisse. Dans ce cas, les paramètres saisis pour le voyage devraient inclure le taux d'occupation individuelle, la consommation moyenne et le type de motorisation. L'écomparateur permet d'obtenir directement le

<sup>2</sup> La raison de cette différenciation réside dans les écarts au niveau de la consommation de carburant: En cycle extra-urbain, un véhicule consomme moins de carburant qu'en cycle urbain (le rendement du moteur diminue avec la baisse du régime) ou que sur autoroute (plus grande résistance de l'air).

<sup>3</sup> La longueur d'un tronçon est déterminée à l'aide d'un calcul polygonal: tous les arrêts intermédiaires du train (les «points d'arrêt») servent de nœuds intermédiaires; la distance directe, à vol d'oiseau, est augmentée de 20 à 30% sur la base des valeurs tirées de l'expérience pour la zone concernée. De plus amples informations peuvent être obtenues dans les rapports de Knörr (2008b; 2008a). En raison de problèmes informatiques, l'établissement de l'itinéraire voiture ne tient pas compte des étapes intermédiaires – il n'est donc pas possible d'établir un comparatif avec ce moyen de transport.

<sup>4</sup> On part du principe que le poids supplémentaire lié à l'augmentation du nombre de passagers ne provoque pas d'atteinte supplémentaire à l'environnement. Dans un train grandes lignes, en moyenne 203 places assises sur les 616 sont pleinement occupées. Un train grandes lignes pèse en moyenne 326 t. Le poids supplémentaire d'un seul voyageur de 80 kg n'a donc pas d'incidence sur la consommation d'énergie.

comparatif écologique relatif à un voyage, pour une planification à plus long terme et, partant, une comparaison globale des moyens de transport.

L'écocompareur permet par exemple de répondre aux questions suivantes:

- Quelle quantité d'énergie ou d'émissions puis-je économiser/éviter lors de mon prochain voyage si je décide d'utiliser les transports publics plutôt que ma voiture?<sup>5</sup>
- Quelles sont, en moyenne, les atteintes à l'environnement provoquées par un trajet en voiture personnelle par rapport à un trajet en train, pour une occupation moyenne et à bord de voitures classiques (comparaison des systèmes dans une perspective à long terme)?
- Pour un type de trajet classique et récurrent, quelles sont les atteintes à l'environnement en fonction des variations d'occupation de sa propre voiture?

---

<sup>5</sup> Dans cette perspective à court terme, il est possible d'éviter l'impact environnemental indiqué pour la voiture dans l'écocompareur.

### 3. Méthode de bilan pour les facteurs d'émission

Le présent chapitre explique les principales hypothèses de modélisation et sources de données pour la détermination des facteurs d'émission utilisés. Tous les facteurs d'émission utilisés reposent sur la méthode, largement étayée scientifiquement, du bilan écologique selon Frischknecht et al. (2007).

Les deux comparatifs écologiques EcoPassenger ([www.ecopassenger.org](http://www.ecopassenger.org)) et EcoTransIT ([www.ecotransit.org](http://www.ecotransit.org)) constituent une base de référence importante pour les chemins de fer. Les rapports scientifiques de l'ifeu (Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg – Institut pour l'énergie et la recherche environnementale) posent des hypothèses quant au bilan d'un certain nombre de moyens de transport des personnes et des marchandises (Knörr 2008b; Knörr 2008a).

La base de données des bilans écologiques ecoinvent sert de référence pour la définition des facteurs d'émission du transport routier ainsi que pour l'établissement des données de base. Le Centre suisse pour les inventaires de cycle de vie écologiques regroupe les organismes ETH, PSI, EMPA et ART; il exploite la plus grande base de données documentée sur les inventaires de cycle de vie<sup>6</sup>.

Le projet mobitool<sup>7</sup> a récemment donné lieu à la publication de données ecoinvent très complètes sur le secteur des transports (Tuchschnid & Halder 2010). Tout l'impact environnemental d'un moyen de transport est rapporté à la prestation de transport d'un voyageur-kilomètre [v-km]<sup>8</sup>.

#### 3.1. Processus pris en compte

La méthode du bilan écologique considère toute la chaîne des effets sur l'environnement, d'un bout à l'autre d'un cycle de vie. Indépendamment du moyen de transport choisi, les véhicules doivent tout d'abord être construits puis exploités, entretenus et, à la fin de leur cycle de vie, éliminés. Il faut également des infrastructures de transport adaptées (voies de communication, tunnels, ponts) ainsi que des installations supplémentaires telles que gares, aéroports, bâtiments administratifs, stations-service et sous-stations, indispensables à une exploitation conforme.

Outre les activités directement liées à l'exploitation du véhicule, d'autres activités sont indirectement associées à la prestation de transport. Voici un exemple d'approvisionnement en énergie destiné à faciliter la compréhension: avant que Mme Dupont ne fasse le plein d'essence à la station-service, une série de processus sont nécessaires:

- Le pétrole est extrait du puits et acheminé soit par pipeline, soit par navire-citerne jusqu'au point de collecte du pétrole le plus proche.
- De là, l'acheminement du pétrole brut vers les raffineries a lieu par pipeline, par train ou par camion. Des procédés thermiques et chimiques permettent de procéder à la séparation du pétrole afin d'en obtenir les différents composants et de produire l'essence brute.
- Une série d'autres processus chimiques permet finalement d'obtenir de l'essence avec des propriétés physiques bien définies (comme le pouvoir antidétonant).
- L'essence est ensuite acheminée vers les différentes stations-service. Mme Dupont peut maintenant faire son plein.

Toutes les étapes intermédiaires s'accompagnent d'une consommation d'énergie et d'une production d'émissions. La même méthode est mise en œuvre pour définir les charges supplémentaires liées à la production d'électricité ou à la fourniture d'autres carburants. La fig. 3.1 synthétise l'ensemble des processus en amont pris en compte dans le calcul des facteurs d'émission.<sup>9</sup>

---

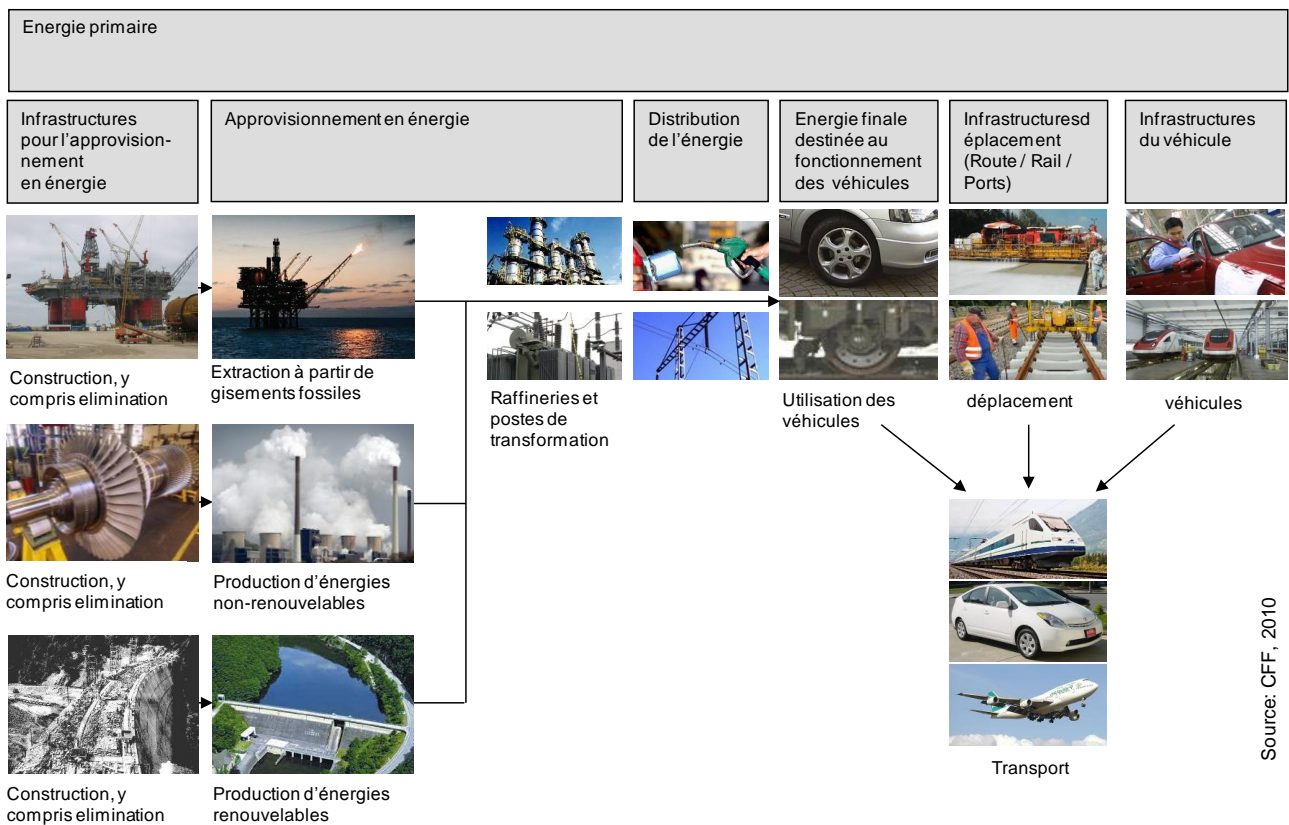
<sup>6</sup> Cf. [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org)

<sup>7</sup> Cf. [www.mobitool.ch](http://www.mobitool.ch)

<sup>8</sup> Exemple de calcul: si une personne parcourt 100 km pour se rendre d'un point A à un point B, la prestation de transport correspondante est de 100 voyageurs-kilomètres.

<sup>9</sup> Les inventaires de cycle de vie de la base de données ecoinvent prennent en compte la construction, l'entretien et l'élimination des véhicules selon les données relevées principalement en Europe, tandis que les inventaires de cycle de vie des voies de communication reflètent davantage la situation en Suisse.

**Fig. 3.1: Synoptique des processus pris en compte**



Source: CFF, 2010

Les processus indirects qui n'ont pas de lien immédiat avec la prestation de transport ne sont pas pris en compte (exemple: dans le cas du transport des ouvriers sur un chantier, l'impact environnemental est imputable en premier lieu à l'entreprise de construction responsable). Les impacts indirects dus à des flux financiers ne sont pas non plus pris en compte.<sup>10</sup>

S'il est exclusivement ou principalement fait appel à des sources d'énergie fossiles pour la propulsion d'un moyen de transport, la consommation d'énergie et les émissions proviennent majoritairement de l'exploitation du véhicule. Les charges liées aux infrastructures et aux véhicules sont surtout déterminantes lorsque les émissions générées par l'exploitation sont très faibles – cas d'un train fonctionnant grâce à une source d'énergie renouvelable.<sup>11</sup>

La part importante de l'énergie hydraulique dans la production du courant de traction des CFF permet de maintenir à un faible niveau les émissions issues de l'exploitation ferroviaire en Suisse. La part occupée par les infrastructures et les véhicules est donc plus importante. Ces éléments sont pris en compte de la même façon dans l'écocompareur, conformément à la méthode de la base de données ecoinvent.

<sup>10</sup> Des bilans écologiques dits «hybrides» prennent en compte, outre les flux de substances proprement dits, des tableaux de données économiques (données d'entrée / de sortie), permettant ainsi de calculer les impacts indirects (comme p. ex. Chester 2008).

<sup>11</sup> Aussi les comparatifs écologiques européens EcoTransIT et EcoPassenger limitent-ils leur comparaison à la consommation d'énergie primaire et aux émissions qui sont directement ou indirectement liées à l'exploitation des véhicules. Pour une simplification du bilan, les infrastructures comme les véhicules sont donc mis entre parenthèses (Knörr 2008b; Knörr 2008a).

## 4. Indicateurs pour l'évaluation du transport des personnes

La méthode décrite ci-avant permet de calculer et d'établir le bilan d'un moyen de transport pour toute ressource ou atteinte à l'environnement. Pour des raisons pratiques, il est toutefois judicieux d'opérer une sélection. Les six indicateurs ci-après permettent de couvrir les principaux critères environnementaux; le dernier est un indicateur agrégé. Les atteintes à l'environnement générées par un processus de transport sont ainsi exprimées sous la forme de points: l'environnement se portera d'autant mieux que le nombre de points affiché par un processus de transport sera faible.

- Energie primaire
- CO<sub>2</sub> en tant qu'indicateur de l'effet de serre potentiel
- Poussières fines (PM<sub>10</sub> / PM<sub>2,5</sub>)
- Hydrocarbures non méthaniques (COVNM)
- Oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>)
- Unités de charge écologique UCE 06

### 4.1. Energie primaire

**Description:** outre la consommation directe d'énergie pour les besoins de l'exploitation, l'énergie primaire inclut les consommations en amont correspondant à l'approvisionnement en énergie, ainsi que les pertes résultant de la production et de la distribution d'électricité. Dans toutes les chaînes de processus, le parcours de l'énergie est en principe suivi – depuis l'origine de l'énergie jusqu'au début de son prélèvement dans l'environnement. L'énergie puisée dans l'environnement sert ici de référence; pour l'essence ou le diesel, le pétrole extrait du sous-sol sert également de paramètre de référence. Dans le cas de la production d'énergie renouvelable par des installations hydrauliques ou éoliennes, l'énergie de rotation est considérée comme une source d'énergie primaire (Hischier u. a. 2009).

**Signification pour la société:** il semble fort probable qu'au cours des prochaines décennies, le seuil maximum d'exploitation des gisements pétroliers sera atteint et qu'à partir de ce moment, la quantité de pétrole disponible commencera à décroître (Newman 2008). Une telle prévision avait déjà été énoncée voici plus de 50 ans par Hubbert (1949). Par ailleurs, les générations futures seront privées de la possibilité d'utiliser le pétrole comme substance chimique de base pour la composition de différents produits.

**Unité:** la quantité d'énergie primaire utilisée est exprimée en équivalent MJ (équivalent MJ); dans l'éco-comparateur, cette grandeur est convertie en litres d'essence<sup>12</sup>.

### 4.2. CO<sub>2</sub> en tant qu'indicateur de l'effet de serre potentiel

**Description:** l'effet de serre généré par les activités humaines est principalement dû aux émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) résultant de la combustion de sources d'énergie fossiles. Outre le dioxyde de carbone, d'autres gaz à effet de serre, notamment le méthane (CH<sub>4</sub>) et l'hémioxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), jouent un rôle essentiel dans l'apparition de l'effet de serre. Dans les transports, le CO<sub>2</sub> est le principal responsable de l'effet de serre potentiel, indépendamment des types de motorisation. C'est la raison pour laquelle dans l'éco-comparateur, le CO<sub>2</sub> est comptabilisé comme un indicateur de l'effet de serre potentiel.

**Signification pour la société:** il apparaît comme certain que le renforcement de l'effet de serre va modifier le climat et entraîner un réchauffement de l'atmosphère. Les conséquences considérables qui en résultent pour l'être humain et la biosphère compromettent le bien-être des générations futures (IPCC 2007).

**Unité:** kilogramme

### 4.3. Poussières fines: PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> («Particulate matter»)

**Description:** sont considérées comme poussières fines (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>) toutes les particules solides et liquides se trouvant dans l'air ambiant, ne tombant pas immédiatement au sol et présentant un diamètre allant jusqu'à 10 micromètres (PM<sub>10</sub>) ou 2,5 micromètres (PM<sub>2,5</sub>). Outre les sources naturelles (pollens, feux de forêt, poussières sahariennes, etc.), un certain nombre de sources anthropogènes (transports, chauffages au bois ou centrales électriques et thermiques) sont responsables de l'augmentation des concentrations de poussières fines (PSI 2008). Les émissions de poussières fines issues des processus de combustion sont généralement inférieures à 2,5 micromètres. Les transports sont en outre responsables des émissions de poussières fines accompagnant les processus d'abrasion, la taille des particules étant davantage de l'ordre de 10 micromètres. Dans les villes, la part jouée par les transports dans les émissions de poussières fines est estimée à 20 pour cent, contre une moyenne globale d'env. 30% (BGBI 2006).

**Signification pour la société:** les poussières fines sont avant tout nocives pour la santé. Les effets sont très divers: gêne temporaire des voies respiratoires (p. ex. toux), recours accru aux médicaments chez les

---

<sup>12</sup> 35,5 équivalent MJ d'énergie primaire correspondent ainsi à 1 litre d'essence. Cette méthode a été choisie afin de simplifier la communication, même si un litre d'essence contient davantage d'énergie primaire.



asthmatiques, augmentation du taux de mortalité suite à des maladies respiratoires ou des problèmes cardiovasculaires. La toxicité est à la fois liée à la composition et à la taille des particules. L'augmentation des risques sanitaires dus aux particules diesel s'explique d'une part par les composantes cancérigènes de ces particules, et d'autre part par leur taille extrêmement réduite (Frischknecht u. a. 2008; Knörr 2008a). Les particules fines peuvent donc pénétrer très avant dans les alvéoles pulmonaires. Afin de garantir la disponibilité des données et pour des raisons pratiques, aucune pondération n'est effectuée en fonction du lieu d'émission.<sup>13</sup>

**Unité:** le gramme; les caractéristiques des particules ne sont pas prises en compte car dans les inventaires de cycle de vie de la base de donnéesecoinvent, aucune distinction n'est effectuée entre les différents types de poussières fines.

#### 4.4. Composés organiques volatils non méthaniques (COVNM)

**Description:** les composés organiques volatils sont des matières organiques qui s'évaporent facilement (sont volatils) et sont présentes sous forme de gaz dès les basses températures (p. ex. température ambiante). Pour une délimitation plus claire, le gaz méthane est souvent exclu du groupe général des composés organiques volatils (COV) pour être intégré au groupe des COVNM (composés organiques volatils non méthaniques)<sup>14</sup>. Un grand nombre de processus anthropogènes et biogènes sont à l'origine des émissions de COVNM dans l'environnement.

**Signification pour la société:** les COVNM sont considérés, avec les oxydes d'azote, comme des précurseurs du smog estival (ozone troposphérique) et ont donc leur importance s'ils se forment principalement en dehors des zones urbaines. Par ailleurs, quelques substances appartenant à ce groupe sont cancérigènes (p. ex. le benzène).

**Unité:** gramme

#### 4.5. Oxydes d'azote: NO<sub>x</sub>

**Description:** les oxydes d'azote sont les oxydes gazeux de l'azote et sont souvent désignés par le symbole NO<sub>x</sub> car en raison des nombreux degrés d'oxydation de l'azote, il existe plusieurs composés d'azote et d'oxygène. Les oxydes d'azote se forment à partir de l'azote et de l'oxygène moyennant un apport d'énergie externe, généralement lors de processus de combustion.

**Signification pour la société:** les oxydes d'azote revêtent une importance du fait de l'intervention de mécanismes nocifs différents. Avec la formation d'acide nitrique à partir du dioxyde d'azote, ils contribuent par exemple à l'apparition de pluies acides. Le même mécanisme se produit sur les muqueuses de l'homme, ce qui irrite l'appareil respiratoire et altère la santé en cas d'exposition chronique. Les oxydes d'azote jouent également un rôle important à la fois dans l'apparition du smog et dans la formation de l'ozone troposphérique (en combinaison avec les COVNM et les rayonnements UV). Leur rôle dans la formation de particules secondaires (poussières fines) est par ailleurs important.

**Unité:** gramme

#### 4.6. Unités de charge écologique (UCE 06)

**Description:** en Suisse, la méthode de la «rareté écologique» est largement répandue; elle permet d'effectuer une évaluation globale des effets sur l'environnement selon des «unités de charge écologique» (UCE). Pour pondérer les effets sur l'environnement, cette méthode prend en compte le rapport entre les valeurs-cibles fixées par la politique environnementale et le niveau actuel des effets sur l'environnement.<sup>15</sup>

Les émissions dans l'air, les eaux superficielles, les eaux souterraines et le sol ont été prises en compte. Le prélèvement des ressources dans l'environnement (énergie, utilisation des terres, gravier et ballast, eaux douces) a également été évalué. L'évaluation intègre en outre les déchets se trouvant dans les décharges réactives et souterraines ainsi que dans les sites de stockage définitif (déchets radioactifs) (Frischknecht u. a. 2008).

**Unité:** points

---

<sup>13</sup> Les poussières fines posent surtout problème dans les zones urbaines.

<sup>14</sup> Toutefois, il n'existe aucune définition standard des COVNM. Certaines définitions contiennent des indications relatives à la tension de vapeur, d'autres s'appuient sur la réactivité photochimique des COVNM et COV pour les considérer comme des précurseurs dans la formation de l'ozone troposphérique. En Suisse, les COV sont régis par l'ordonnance du 12 novembre 1997 sur la taxe d'incitation sur les composés organiques volatils (VOCV 2009).

<sup>15</sup> La méthode UCE a été développée et diffusée pour la première fois par l'OFEV en 1990, en collaboration avec des entreprises suisses (Cahier de l'environnement – SRU 133). En 1997, cette méthode a fait l'objet d'une première révision par l'OFEV, Öbu et des entreprises. En 2008, une deuxième révision a été bouclée, avec la participation de l'OFEV, d'entreprises, d'Öbu et de spécialistes du bilan écologique.

## 5. Bilan des moyens de transport

Le présent chapitre expose brièvement les caractéristiques des sources de données ainsi que des principales hypothèses de base émises pour chaque moyen de transport: pour ce chapitre, les différentes sources de données sont le rapport de référence sur le projet mobitool, de Tuchschnid & Halder (2010), les travaux de Knörr (2008b; 2008a) et le rapport ecoinvent n° 14 de Spielmann et al. (2007).

Une comparaison des moyens de transport n'est en principe judicieuse que pour les moyens de transport offrant une réelle alternative aux utilisateurs. Ils devraient donc présenter des similarités en termes de finalité, de niveau de confort et de vitesse commerciale. Si les principes posés ont ainsi permis de comparer le bilan environnemental du bateau et du train à grande vitesse, ces deux moyens de transport présentent toutefois des différences extrêmes en termes de vitesse commerciale, de desserte et de confort.

### 5.1. Voiture

L'écomparateur propose cinq options pour une utilisation de la voiture plus respectueuse de l'environnement:

- **Réduction de la consommation moyenne:** l'environnement se portera d'autant mieux que la consommation sera faible.
- **Réduction du poids du véhicule:** plus un véhicule est léger et plus les charges liées à sa construction et aux voies de communication seront faibles<sup>16</sup>.
- **Post-traitement des émissions:** plus le véhicule est récent et plus il relève d'une classe EURO élevée, garantie d'un plus grand respect de l'environnement.
- **Choix d'un carburant respectueux de l'environnement:** le choix du carburant a également un impact – bien que mineur – sur le bilan environnemental. Les véhicules roulant au gaz naturel sont généralement plus avantageux que les véhicules diesel ou essence (Zah et al. 2007).
- **Augmentation du taux d'occupation du véhicule:** l'occupation du véhicule peut également être modifiée au cas par cas; il s'agit là d'un paramètre essentiel. Le taux d'occupation d'un véhicule peut en effet varier très fortement selon le motif de déplacement<sup>17</sup>.

#### Exploitation

**Consommation moyenne:** autoschweiz (2010) mentionne une consommation moyenne de 6,86 litres aux 100 km pour tous les véhicules neufs vendus en 2009. La consommation moyenne de l'ensemble des véhicules circulant en Suisse est cependant plus élevée puisque les véhicules les plus anciens encore en circulation affichent une consommation plus élevée. Les travaux présentés dans le MICET version 2.1<sup>18</sup>, de Keller et al. (2004), mentionnent une consommation moyenne de 8,8 litres de carburant; les autres possibilités de variation des besoins en carburant ont été identifiées à partir des données de l'EcoMobiListe ainsi que du Catalogue sur la consommation TCS (2010). La consommation moyenne prise en compte pour l'utilisation est celle mesurée à la pompe à essence<sup>19</sup>.

**Différents types de conduite: cycle urbain / cycle extra-urbain / circulation sur autoroute:** le module d'itinéraire de l'écomparateur sait distinguer la conduite en cycle urbain, en cycle extra-urbain ou sur autoroute; il tient donc compte des vitesses correspondantes et, partant, des différents temps de trajet requis. La consommation moyenne d'une voiture étant également fonction de sa vitesse, ce paramètre est lui aussi intégré aux facteurs environnementaux<sup>20</sup>.

**Post-traitement des émissions:** les gaz d'échappement d'un véhicule doivent satisfaire aux exigences réglementaires en la matière (EU 2007). Plus la classe EURO est élevée et plus le post-traitement des émissions sera complexe, avec pour corollaire des émissions plus faibles. Il faut noter que tous les véhicules diesel de la classe EURO 5 sont équipés d'un filtre à particules, seul moyen de respecter les valeurs limites. Les véhicules neufs actuels relèvent quasiment toujours de la classe EURO 5, et des véhicules de la classe

<sup>16</sup> Les calculs sont effectués sur la base des poids de véhicules suivants: petite cylindrée = 1100 kg, classe moyenne = 1310 kg, classe moyenne supérieure = 1520 kg, monospace = 1800 kg, véhicule tout-terrain / VUS = 1900 kg.

<sup>17</sup> La charge moyenne d'un véhicule effectuant des navettes domicile-travail est de 1,11 personne tandis qu'un véhicule circulant dans le cadre des loisirs transporte en moyenne 1,92 personne. Si l'on regroupe tous les motifs de déplacement, la charge moyenne d'un véhicule est de 1,59 personne. (BfS 2007)

<sup>18</sup> MICET signifie «Manuel informatisé des coefficients d'émission du trafic routier»: il s'agit d'un projet mené depuis ans par l'ensemble des associations écologiques de Suisse et d'Autriche.

<sup>19</sup> Les données des constructeurs s'appuient sur la consommation normalisée selon le Nouveau cycle de conduite européen. Celui-ci correspond à un trajet de mesure théorique; les consommateurs de courant tels que la climatisation ou les appareils multimédias sont toutefois désactivés. Différentes révèlent que la consommation effective est en réalité de 10% à 15% plus élevée.

<sup>20</sup> Un moteur à combustion affiche un rendement optimal lorsqu'il tourne à régime moyen avec un taux de charge élevé. Les consommations spécifiques les plus faibles sont ainsi obtenues à des vitesses comprises entre 80 km/h et 90 km/h. Faute de facteurs spécifiques pour les motorisations au gaz naturel et la consommation moyenne y afférente, ce sont les facteurs d'émission du moteur essence qui ont été utilisés. Comme dans le Nouveau cycle de conduite européen, on est parti de l'hypothèse selon laquelle les distances des cycles urbain, extra-urbain et autoroutier étaient équivalentes.

EURO 6 sont d'ores et déjà commercialisés de façon ponctuelle. Les facteurs d'émission sont repris de la base de données ecoinvent et réajustés en fonction de la consommation spécifique effective.

**Emissions dues à l'abrasion:** outre la combustion du carburant, l'abrasion des pneus, des garnitures de freins et des voies est également source d'émissions dans l'atmosphère. Conformément aux préconisations de Spielmann et al. (2007), les émissions dues à l'abrasion sont indiquées séparément, par véhicule-kilomètre.<sup>21</sup> Par exemple, si on les rapporte à un véhicule-kilomètre, 18% des émissions de poussières fines de moins de 10 micromètres (PM<sub>10</sub>) générées par un véhicule diesel de la classe EURO 3 sont dues à l'abrasion.

### Véhicule

Le bilan de la voiture prend comme base de référence une voiture de classe moyenne (Golf) pesant 1310 kg (Spielmann u. a. 2007). Une voiture est constituée principalement d'acier ainsi que, dans une moindre mesure, d'aluminium, de matières plastiques, de verre et de matériaux composites fibreux. A titre de comparaison: le poids moyen de tous les véhicules neufs immatriculés en 2009 était de 1448 kg (auto-schweiz 2010).

## 5.2. Transports publics

Le taux d'utilisation est le facteur le plus important pour le bilan environnemental des transports publics. Il peut également être défini individuellement pour les transports publics dans l'horaire environnemental. Les valeurs suivantes sont utilisées:

Taux d'utilisation faible	10% des places assises sont occupées
Taux d'utilisation moyen	50% des places assises sont occupées
Taux d'utilisation élevé	100% des places assises sont occupées
Taux d'utilisation (moyenne)	individuel par moyen de transport, p. ex. train grandes lignes 33%

### 5.2.1. Tram et bus régional

Le bilan (Spielmann u. a. 2007) des transports publics par la route s'appuie sur les données des transports urbains de Zurich, Berne et Lugano. La durée de vie moyenne supposée d'un bus régional est de 12,5 ans, celle d'un tram de 30 ans. Sur toute la durée de vie des véhicules, on obtient ainsi, avec un taux d'occupation moyen (bus régional: 14 personnes, tram: 53 personnes), d'importantes prestations de transport de personnes. Cela explique également, par comparaison avec la voiture, les faibles valeurs d'émission pour l'entretien, la construction et l'élimination des véhicules.

La consommation d'électricité s'élève à 4,75 kWh par kilomètre de trajet en tram, ce qui correspond, par passager, à un besoin énergétique final d'env. 0,9 litre de diesel aux 100 km. Le bus régional régulier affiche une consommation de près de 42 litres de diesel aux 100 km, ce qui correspond, par passager, à environ 3 litres aux 100 km. L'écocompareur ne fait pas de distinction entre trolleybus et bus régional.<sup>22</sup>

### 5.2.2. Transport par la route: autocar

Le bilan du transport par autocar s'appuie sur celui d'un bus régional normal des transports publics. Les caractéristiques de conduite étant quelque peu différentes, avec moins d'accélération, les besoins en carburant sont plus faibles: un autocar requiert ainsi env. 30 litres de diesel aux 100 km, ce qui correspond, par passager (occupation moyenne: 21 personnes), à un besoin énergétique de 1,45 litre aux 100 km (Tuchschnid & Halder 2010).

### 5.2.3. Téléphérique

Le bilan écologique du téléphérique s'appuie sur les rapports de gestion du Téléphérique Adliswil-Felsenegg (LAF 2010) ainsi que du Téléphérique Kandersteg-Sunnbühl (LKS 2007). L'hypothèse de départ est celle d'une déclivité moyenne de 31% et d'une cabine de taille moyenne, d'une capacité de 30 personnes. Le besoin énergétique final est de 0,39 kWh par voyageur-kilomètre (mesure horizontale).

<sup>21</sup> Bien que les données de la base ecoinvent fassent état d'une abrasion cinq fois plus élevée pour un camion que pour une voiture, il n'est pas fait appel à différents facteurs au sein du groupe des camions (p. ex. camion de 8 tonnes / camion de 40 tonnes). Pour cette raison et compte tenu des incertitudes généralement plus importantes concernant les émissions dues à l'abrasion, on part du principe que celles-ci ne dépendent ni du poids du véhicule, ni de la consommation moyenne de carburant.

<sup>22</sup> Les différentes catégories de bus ne sont indiquées que pour certaines villes. Il existe également des lignes de bus desservies en alternance par des trolleybus et des bus au gaz naturel. Par ailleurs, en cas de travaux sur les voies et de modification des lignes de contact, il faut souvent mettre en circulation des bus diesel à la place des trolleybus d'origine.

A noter: le trolleybus prélève à la ligne de contact au moins 3 kWh par véhicule-kilomètre, ce qui correspond, par passager, à un besoin énergétique final de 1,1 litre de diesel aux 100 km.

#### 5.2.4. Bateau

Le bilan du transport par bateau s'appuie sur les rapports de gestion de la compagnie du lac de Zurich (ZSG 2009). En 2008, les 15 bateaux à moteur (Ø 148 tonnes) parcouraient un total de 342 000 km, réalisant ainsi une prestation de transport de près de 28 millions de voyageurs-kilomètres (ZVV 2009). 20,9% des places assises étaient occupées, soit une moyenne de 84 passagers par bateau. Il en résulte une consommation de carburant moyenne de 3,8 litres aux 100 voyageurs-kilomètres.

#### 5.2.5. Transports ferroviaires suisses: trafic régional, RER et trafic grandes lignes

Le bilan environnemental des transports ferroviaires suisses s'appuie sur plusieurs études (Maibach u. a. 1999; Spielmann u. a. 2007; Knörr 2008a). Les hypothèses ci-après servent de base à la modélisation:

- Une distinction est opérée entre trafic régional, RER et trafic grandes lignes. Les données relatives à la prestation de transport pour le trafic grandes lignes et le trafic régional proviennent des CFF (2009), celles relatives au RER proviennent de la Communauté de transports zurichoise ZVV (2009). Le niveau de charge des trains est moyen: dans un train régional, en moyenne 18% des 309 places assises sont occupées tandis que dans un train grandes lignes, ce taux passe à environ 33% des 616 places assises. Dans un RER, en moyenne 95 places assises sur 271 sont occupées.
- Le trafic grandes lignes évalue sa consommation moyenne d'énergie à 0,075 kWh par v-km, ce qui correspond à un besoin énergétique final de 0,75 litre équivalent essence aux 100 km. En trafic régional où le taux d'occupation est plus faible, la consommation d'énergie est plus élevée: 0,164 kWh par v-km, soit 1,6 litre équivalent essence aux 100 km. Le RER affiche quant à lui des besoins énergétiques correspondant à 0,82 litre équivalent essence aux 100 km.
- La motorisation des trains fait appel au mix de consommation des chemins de fer suisses: plus de 74% du courant de traction est produit par leurs propres centrales hydrauliques ou par les centrales de leurs partenaires. Le reste de l'électricité provient de l'énergie nucléaire, d'où un faible impact négatif sur le climat: pour un kilowatt-heure d'électricité, la quantité d'émissions produites s'élève ainsi à 9,5 g équivalent CO<sub>2</sub>.
- Le bilan du train grandes lignes se base sur un train IC2000 (8 voitures IC2000, locomotive Re4/4) tandis que pour le trafic régional, c'est un «Colibri» ou une RBDe 560 qui sert de référence. Le bilan du RER est estimé sur la base d'un train grandes lignes (dont les données ont été réajustées), les matériaux composant les nouvelles rames RER telles que les DPZ et DTZ étant comparables à ceux du train grandes lignes dont le bilan a été effectué.
- Pour la construction, l'entretien et l'élimination des installations de voies, un calcul d'affectation est effectué entre les différents types de transports ferroviaires, sur la base des tonnes-kilomètres brutes transportées.

#### 5.2.6. Transports ferroviaires suisses: train-autos

Le chargement de voitures sur le train permet une utilisation combinée du chemin de fer et du véhicule personnel qu'un wagon spécial transporte en général de l'autre côté du tunnel alpin. L'impact sur l'environnement est calculé sur la base des hypothèses et des faits suivants:

- Le poids de la voiture est celui pris en référence dans l'écocompareur (p. ex. classe moyenne 1310 kg), auquel s'ajoute le poids des occupants (Ø 1,6 personne à 80 kg = 128 kg). La distance entre les stations de chargement et de déchargement est consignée dans le routage SIG. Les paramètres du poids du véhicule et de la distance permettent ainsi de déterminer la prestation de transport.
- Les données du transport de marchandises, à savoir «rail, mix d'électricité CFF (seulement locomotive électrique, sans manœuvres)» de mobitool.ch, sont appliquées au train-autos. Comme aucune locomotive diesel n'est utilisée pour la manœuvre (réseau intégralement électrifié dans les stations de chargement et de déchargement), il est admis de recourir à la version liée à une exploitation purement électrique.
- La présente version tient compte du chargement de voitures sur le train au Lötschberg. A l'avenir, les répercussions du train-autos pourront également être évaluées pour les autres cols alpins proposant un tel mode de transport.

#### 5.2.7. Transports ferroviaires européens

Le bilan des chemins de fer autrichiens, allemands, italiens et français s'appuie essentiellement sur les données relatives à la consommation d'énergie effective, telles que communiquées par les compagnies ferroviaires (UIC 2007). Le bilan est parti des hypothèses et sources de données suivantes:

- Les données sur la consommation d'énergie effective, le taux d'occupation des véhicules ainsi que la composition du mix électrique<sup>23</sup> proviennent de l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC) ou, dans le cadre du comparatif écologique EcoPassenger, des travaux de Knörr (2008a). Une distinction est opérée entre trains à grande vitesse, trains grandes lignes et rames RER.
- Pour des raisons de disponibilité des données, les atteintes à l'environnement générées par les véhicules et les voies sont étudiées sur la base des valeurs suisses.
- Les données relatives aux installations de voies pour les trains à grande vitesse font l'objet d'enregistrements propres, sur la base des travaux de Rozycki et al. (2003), dans le cadre desquels un profil écologique détaillé a été enregistré pour l'ICE allemand. Ces données sont conformes aux enregistrements de la baseecoinvent (Spielmann u. a. 2007). Les données relatives à l'élimination des installations de voies sont identiques aux données suisses.

### 5.3. Avion

Le bilan du trafic aérien prend comme base de référence les données d'exploitation des avions publiées par EcoPassenger<sup>24</sup> (Knörr 2008a), les résultats de comparaison et d'harmonisation de ces dernières avec celles du calculateur de vol de la compagnie aérienne SWISS (2010), ainsi que les données ecoinvent relatives à la construction, l'entretien et l'élimination des avions et de l'infrastructure aéroportuaire (Spielmann, entre autres, 2007). Les sources de données et les hypothèses suivantes sont pertinentes pour la modélisation du trafic aérien:

**Taux d'utilisation:** l'Office fédéral de la statistique (OFS) (2010) mentionne un taux d'utilisation moyen des vols de 72% en Europe pour les années 2008 et 2009. L'utilisateur peut, en outre, modifier individuellement le taux d'utilisation; les valeurs définies pour les transports publics s'appliquent également ici (cf. section **Error! Reference source not found.**)

**Phases de vol:** chaque vol est subdivisé en quatre phases: «roulage au sol», «décollage et montée», «croisière» et «descente et atterrissage». L'altitude maximale atteinte lors de la phase de croisière sera d'autant plus faible que la distance à parcourir est courte. Comme les phases de décollage et de montée sont les plus gourmandes en kérosène<sup>25</sup>, la consommation moyenne par siège-kilomètre d'un vol courte distance s'avère également plus élevée. La distance de chaque vol permet de déterminer les valeurs moyennes de consommation par siège-kilomètre. Par souci de simplification du traitement de ces données, huit classes de distance ont été définies à titre de références. Pour la phase de roulage au sol (déplacement sur le tarmac du dock à la piste de décollage), une consommation de 0,3 kg de kérosène a été ajoutée<sup>26</sup> par siège et par cycle de vol (décollage – atterrissage), indépendamment de la distance.

**Consommation d'énergie par passager:** la consommation d'énergie varie en fonction de la phase de vol, du type d'avion, de la disposition des sièges et de la distance parcourue. Le facteur le plus important reste toutefois la taille de l'avion: la consommation spécifique de kérosène sera d'autant plus faible que le nombre de sièges est important. Par exemple un A320 disposant de 150 sièges volant de Zurich à Berlin consomme environ 30% de carburant (par siège) de moins qu'un B737-500 plus petit avec environ 105 sièges sur le même trajet (Knörr 2008a). Les calculs de la consommation se basent sur les données du calculateur de vol de la compagnie SWISS<sup>27</sup>. Toutefois, comme aucune indication sur le type d'appareil n'est disponible pour une liaison donnée, la valeur moyenne de la flotte SWISS est retenue. Un avion reliant Zurich à Berlin présente une consommation moyenne de 35,1 g de kérosène par siège-kilomètre<sup>28</sup>.

**Facteur RFI (Radiative Forcing Index – indice de forçage radiatif):** lors de la combustion du kérosène, le dioxyde de carbone n'est pas le seul à affecter le climat; d'autres processus entrent en jeu. Ainsi l'oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>) provenant du processus de combustion produit un gaz à effet de serre, l'ozone. De plus, les

<sup>23</sup> Le mix électrique des chemins de fer étrangers se compose comme suit:

Autriche:	énergie hydraulique ≈ 85%, gaz naturel ≈ 8% et charbon ≈ 7%
Allemagne:	charbon ≈ 54%, énergie nucléaire ≈ 27%, gaz naturel ≈ 9% et énergie hydraulique ≈ 10%
Italie:	gaz naturel ≈ 42%, énergie hydraulique et éolienne ≈ 36%, charbon ≈ 12% et pétrole ≈ 10%
France:	énergie nucléaire ≈ 86%, charbon ≈ 5%, énergie hydraulique et éolienne ≈ 5% et gaz naturel ≈ 4%

<sup>24</sup> Cf. [www.ecopassenger.org](http://www.ecopassenger.org)

<sup>25</sup> La combustion d'un kilogramme de kérosène génère directement 3,15 kg de CO<sub>2</sub>; 0,503 kg supplémentaires sont indirectement émis par le traitement du pétrole brut et le transport jusqu'à l'aéroport. Au total, les émissions de CO<sub>2</sub> s'élèvent donc à 3,653 kg par kilogramme de kérosène.

<sup>26</sup> Le rapport de la compagnie aérienne Lufthansa, daté de 1993 (LH 1993, cité dans Knörr 2008a), mentionne le chiffre d'1 kg de kérosène par passager et par vol. Selon Christoph Fülleman, de SWISS (communication personnelle du 15 juillet 2011), les avions à Zurich utilisent souvent un seul de leurs réacteurs lorsqu'ils circulent au sol. En outre, les distances de roulage sont inférieures à celles de l'aéroport de Francfort. Aussi l'estimation se base-t-elle ici sur une valeur supposée plus faible.

<sup>27</sup> SWISS et myClimate ont analysé plus de 58 000 vols pour déterminer la consommation de kérosène d'un vol «de gate à gate». Ce faisant, les avions régionaux ainsi que les grands avions long-courriers ont été pris en compte. Le calculateur de vol est disponible à l'adresse suivante [http://swiss.myclimate.org/calculate\\_flight](http://swiss.myclimate.org/calculate_flight).

<sup>28</sup> A titre de comparaison: Swiss (2009) indique une consommation moyenne sur l'ensemble des liaisons (y c. pour les vols long-courriers plus efficaces) d'environ 25 g par siège-kilomètre.

particules de suie et la vapeur d'eau ont un effet réchauffant (formation de nuages de condensation et de cirrus), alors que dans le même temps, le dégagement d'aérosols sulfatés et la réduction du méthane induite par les émissions de NO<sub>x</sub> ont un effet refroidissant. Les scientifiques cherchent par conséquent à modéliser l'ensemble des processus et des émissions afin de calculer la modification du bilan énergétique inhérent au système couplé Terre-atmosphère (Sausen, entre autres, 2005). Dans cette optique, l'«indice de forçage radiatif» ou RFI constitue une approche relativement simple du problème. Cet indice représente un facteur numérique permettant d'exprimer la valeur globale moyenne du réchauffement produit par l'ensemble des émissions du trafic aérien par rapport au CO<sub>2</sub> rejeté directement dans l'atmosphère. Selon différentes sources, le RFI varie entre 1,9 et 5 selon la prise en compte des incertitudes scientifiques<sup>29</sup>. Etant donné qu'un seul facteur ne permet pas de couvrir raisonnablement le large éventail des discussions scientifiques, seules les émissions de CO<sub>2</sub> font l'objet du présent bilan.

**Construction, entretien et élimination des avions et de l'infrastructure aéroportuaire:** le bilan de l'infrastructure aéroportuaire est basé sur les donnéesecoinvent (Spielmann, entre autres, 2007). L'Airbus A320 (poids à vide: 61 t, 150 sièges, principalement constitué d'alliages d'aluminium) sert, quant à lui, de référence pour le coût des matériaux.

---

<sup>29</sup> Sausen et al. (2005) présentent les dernières constatations des effets, avec indication de l'évolution de la compréhension scientifique: la proportion de cirrus induits par le trafic aérien reste notamment à clarifier. Sur la base de ces données, l'office fédéral allemand de l'environnement estime que le facteur RFI se situe entre 3 et 5 (UBA 2008).

## 5.4. Facteurs d'émission utilisés dans l'écocompareur

Les facteurs d'émission utilisés dans l'écocompareur ont été évalués avec SimaPro v7.1; la version v2.1 de la base ecoinvent a servi de base de données de référence.

**Tab. 5.1: Extrait des facteurs d'émission utilisés pour des moyens de transport affichant un taux d'occupation moyen (voiture: 1,59 personne, Intercity: 33%, train régional: 18%, RER: 35%, avion: 72%)**

Type de transport	CO <sub>2</sub> utilisation directe et indirecte via la production énergétique [g CO <sub>2</sub> /pkm]	CO <sub>2</sub> Somme [g CO <sub>2</sub> /pkm]	Energie primaire utilisation directe et indirecte via la production énergétique [ml Essence / pkm]	Energie primaire, Somma [ml Essence / pkm]	Poussières fines PM <sub>10</sub> [mg / pkm]	Poussières fines PM <sub>2.5</sub> [mg / pkm]	Composés organiques volatils non méthaniques (NMVOC) [mg / pkm]	Oxydes d'azote (NOX) [mg / pkm]	Unités de charge écologique (UCE 06) [points / pkm]	
Chemin de fer, Grand lignes	0.7	6.4	13.8	17.8	18.2	2.8	4.7	22.0	27.6	
Chemin de fer, Trafic régional	1.5	9.7	30.2	35.9	27.9	4.6	6.0	33.4	51.4	
Chemin de fer, RER	0.7	8.2	15.2	20.4	17.2	3.5	8.3	25.4	31.8	
Bus régional	91.8	100.3	38.9	47.2	51.3	40.7	131.8	1012.0	115.0	
Tram	10.9	24.9	25.0	33.5	35.2	12.0	20.6	94.4	57.9	
Autocar	44.2	50.1	18.7	24.3	24.5	17.6	60.9	468.6	57.5	
Téléphérique	47.6	63.9	109.3	118.0	56.3	23.5	17.7	125.8	182.3	
Bateau	116.2	119.2	49.4	51.4	55.8	48.3	225.3	1829.7	169.5	
Voiture, moyenne (8.8 Litres, 1310 kg)	en localité	171.9	201.3	73.9	100.9	61.1	35.4	233.2	410.6	225.3
	hors localité	130.2	159.5	56.0	83.0	55.0	30.9	191.7	329.6	188.5
	autoroute	170.7	200.0	73.4	100.4	60.9	35.2	231.9	408.2	224.2
Voiture, petite (5 l/100km Diesel, Euro 5, 1100kg)	en localité	97.4	122.0	41.2	63.9	44.8	21.1	158.8	225.8	122.9
	hors localité	79.2	103.9	33.5	56.2	42.3	19.9	139.0	195.8	112.1
	autoroute	110.1	134.7	46.6	69.3	46.6	21.9	172.7	246.8	130.5
Voiture, Van (11 l/100km)	en localité	215.8	256.2	91.7	128.7	76.3	33.8	285.7	287.3	252.7
	hors localité	163.4	203.8	69.4	106.5	69.2	30.8	237.2	243.3	214.4
Essence, autoroute		214.2	254.6	91.0	128.1	76.0	33.7	284.2	286.0	251.5
Avion (500km)		228.8	229.5	97.0	97.5	16.9	13.4	120.7	1002.0	166.3

## 6. Autres bases de données: comparatif écologique et facteurs d'émission de l'outil mobitool

L'écocompareur permet de comparer le bilan environnemental d'un voyage classique effectué soit par les transports publics, soit avec une voiture de classe moyenne à motorisation essence, diesel ou au gaz naturel. Mais d'autres types de motorisation pénètrent peu à peu le marché: Quelles sont les résultats d'un véhicule électrique par rapport au train? Quel est l'avantage des véhicules roulant au biogaz? Comment le train arrive-t-il à se positionner par rapport à l'avion? Et quel est l'impact de la construction d'un véhicule par rapport à une utilisation directe?

Le site Internet des CFF<sup>30</sup> propose un comparatif interactif qui permet de répondre à toutes ces questions. Les données environnementales ont été saisies selon la même méthode afin de permettre une comparaison juste entre les différents moyens de transport.

Les valeurs environnementales de 97 moyens de transport ont en outre été publiées dans le cadre du projet mobitool. Le site Internet [www.mobitool.ch](http://www.mobitool.ch) permet d'accéder aux bases de données ainsi qu'aux listes Excel des facteurs d'émission.

<sup>30</sup> [www.cff.ch/environnement](http://www.cff.ch/environnement)

## 7. Bibliographie

- auto-schweiz, 2010. *14. Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung über die Absenkung des spezifischen Treibstoff-Normverbrauchs von Personenwagen 2009*,
- BAFU, 2010. *BAFU - Klima - CO2-Statistik gemäss CO2-Gesetz*, Available at: <http://www.bafu.admin.ch/klima/09570/09572/index.html?lang=de> [Zugegriffen Februar 11, 2010].
- BAFU, 2009. *CO2-Statistik gemäss CO2-Gesetz*, Available at: [www.bafu.admin.ch/klima/09570/09572/index.html?lang=de](http://www.bafu.admin.ch/klima/09570/09572/index.html?lang=de) [Zugegriffen Februar 11, 2010].
- BfS, 2007. *Mobilität in der Schweiz: Ergebnisse des Mikrozensus 2005 zum Verkehrsverhalten*, Neuchâtel, Bern: Bundesamt für Statistik, Bundesamt für Raumentwicklung.
- BGBI, 2006. *Verordnung zum Erlass und zur Änderung von Vorschriften über die Kennzeichnung emissionsarmer Kraftfahrzeuge*, Available at: <http://www.bgblportal.de/BGBL/bgbl1f/bgbl106s2218.pdf>.
- Chester, M.V., 2008. *Life-cycle Environmental Inventory of Passenger Transportation in the United States*. Berkeley: Institute of Transportation Studies, University of California.
- EU, 2007. *Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge.*,
- Frischknecht, R., Jungbluth, N. & Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Hirschler R., Hellweg S., Nemecek T., Rebitzer G. and Spielmann M., 2007. *Overview and Methodology, Final report ecoinvent data v2.0, No. 1.*, Dübendorf, CH: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Frischknecht, R., Steiner, R. & Jungbluth, N., 2008. *Ökobilanzen: Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006*, Zürich: Öbu.
- Hirschler, R., Weidema, B. & Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Frischknecht R., Hellweg S., Humbert S., Jungbluth N., Köllner T., Loerincik Y., Margni M., and Nemecek T. (2009), 2009. *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report ecoinvent v2.1 No. 3.*, Dübendorf, CH.: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Hubbert, M.K., 1949. Energy from Fossil Fuels. *Science*, 109(2823), 103-109.
- IPCC, 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Available at: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_wg1\\_report\\_the\\_physical\\_science\\_basis.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm) [Zugegriffen Februar 17, 2010].
- Keller, M. u. a., 2004. *Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs 2.1:Dokumentation*, UBA Berlin / BUWAL Bern / UBA Wien.
- Knörr, W., 2008a. *EcoPassenger: Environmental Methodology and Data*, Heidelberg: Commissioned by International Union of Railways (UIC).
- Knörr, W., 2008b. *EcoTransIT: Ecological Transport Information Tool Environmental, Methodology and Data*, Heidelberg: ifeu - Institut für Energieund Umweltforschung Heidelberg GmbH.
- LAF, 2010. *Geschäftsbericht 2009 - Luftseilbahn Adliswil-Felsenegg LAF AG*,
- LKS, 2007. *Technische Daten Lufseilbahn Kandersteg-Sunnbühl*,
- Maibach, M., Peter, D. & Seiler, B., 1999. *Ökoinventar Transporte: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen. Technischer Schlussbericht.*, Zürich: INFRAS.
- Newman, S., 2008. *The Final Energy Crisis*, London: Pluto Press.



- PSI, 2008. *Vorsicht Feinstaub*, Paul-Scherrer-Institut, Villingen.
- von Rozycki, C., Koeser, H. & Schwarz, H., 2003. Ecology Profile of the German High-speed Rail Passenger Transport System, ICE. *Int J LCA*, 8(2), 83-91.
- SBB, 2009. *Statistisches Vademecum: Die SBB in Zahlen 2008*,
- Spielmann, M., Roberto, D. & Christian, B., 2007. *Life Cycle Inventories of Transport Services. Final report ecoinvent v2.0 No. 14.*, Dübendorf, CH: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- TCS, 2010. *TCS-Verbrauchskatalog: Fahrzeugliste mit Verbrauchsangaben*, TCS Schweiz & EnergieSchweiz.
- Tuchschnid, M. & Halder, M., 2010. mobitool – Grundlagenbericht: Hintergrund, Methodik & Emissionsfaktoren.
- UIC, 2007. *International Railway statistics*, Paris.
- VOCV, 2009. *Verordnung über die Lenkungsabgabe auf flüchtigen organischen Verbindungen (VOCV)*,
- Zah et al., 2007. Ökobilanz von Energieprodukten - Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen (Schlussbericht). Available at: <http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=12653>.
- ZSG, 2009. *Geschäftsbericht 2008 der Zürichsee Schifffahrtsgesellschaft*,
- ZVV, 2009. *ZVV-Geschäftsbericht 2008*, Zürich. Available at: [http://www.zvv.ch/export/sites/default/common-images/content-image-gallery/unternehmen-pdfs/ZVV\\_GB\\_2008.pdf](http://www.zvv.ch/export/sites/default/common-images/content-image-gallery/unternehmen-pdfs/ZVV_GB_2008.pdf).