

PDMP ET MOBILITÉ

Nathalie Krell
Université de Rennes 2

CIRM, 16 janvier 2025



- 1 LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DU SECTEUR DES TRANSPORTS
- 2 UN SUPER PROJET
- 3 LES PDMP
 - LA CROISSANCE DE BACTÉRIE
 - UNE CLASSE SPÉCIFIQUE DE PDMP
- 4 APPLICATION À LA MOBILITÉ
 - COMMENT MODÉLISER LE PROBLÈME ?
 - L'ENVIRONNEMENT INFLUENCE POSITIVEMENT LA MOBILITÉ ?

RÉPARTITION SECTORIELLE DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE EN FRANCE EN 2019

- **31 %** des émissions françaises de GES proviennent du transport.
- Depuis **1990**, les émissions du transport ont augmenté de **9 %**.
 - Stabilité depuis 2008 : l'amélioration des véhicules n'a pas compensé **l'augmentation de la circulation**.

Répartition sectorielle des émissions de gaz à effet de serre en France en 2019

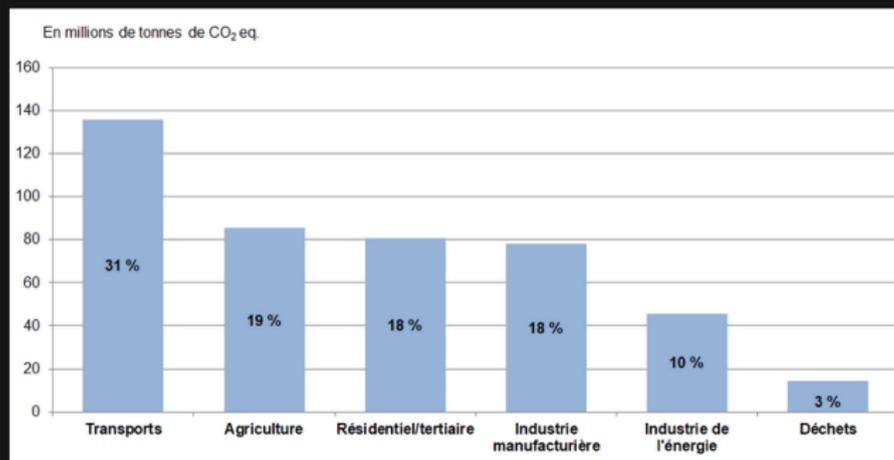


Illustration 2671

LES ÉMISSIONS DE GES LIÉES AUX TRANSPORTS EN FRANCE (2019)

Répartition des émissions par mode de transport :

- **97 %** des émissions sont du **CO₂** (combustion des carburants).
- **94 %** des émissions proviennent des **transports routiers** :
 - **54 %** : Véhicules particuliers
 - **24 %** : Poids lourds
 - **20 %** : Véhicules utilitaires légers
- **Transport ferroviaire** : Émissions négligeables.
- **Transport aérien** (intérieur et international imputé à la France) : **4,4 %** du total des émissions françaises de GES.

RÉPARTITION DES ÉMISSIONS FRANÇAISES DE GES SELON LE MODE DE TRANSPORT – FRANCE – 2018

Répartition des émissions françaises de GES selon le mode de transport – France – 2018

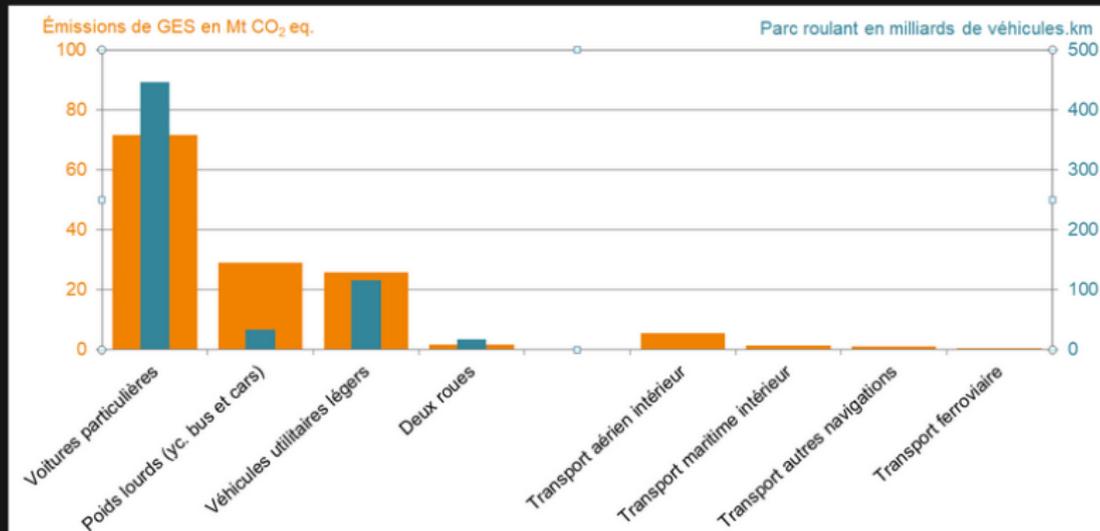
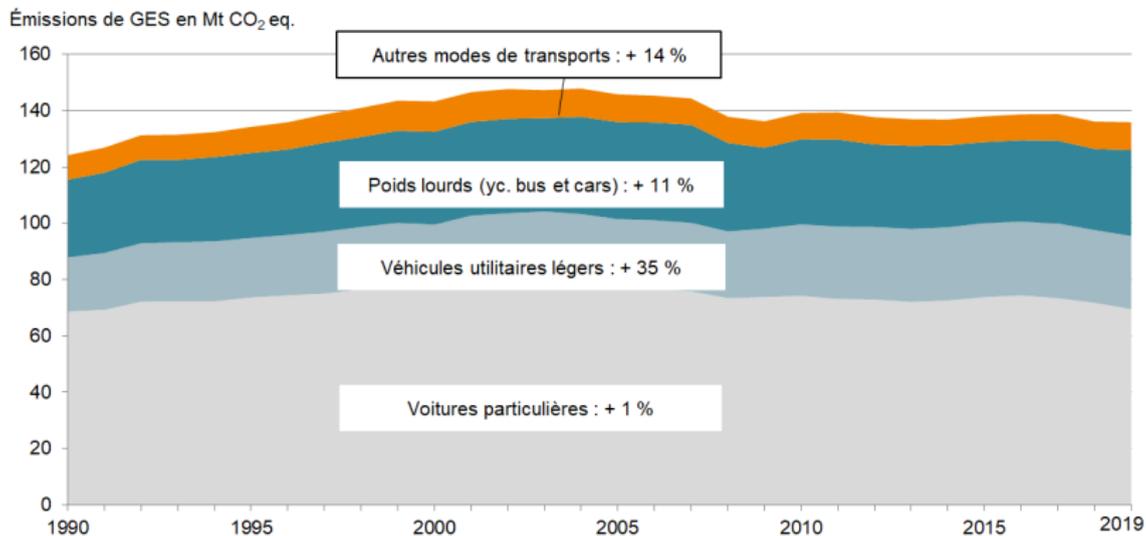
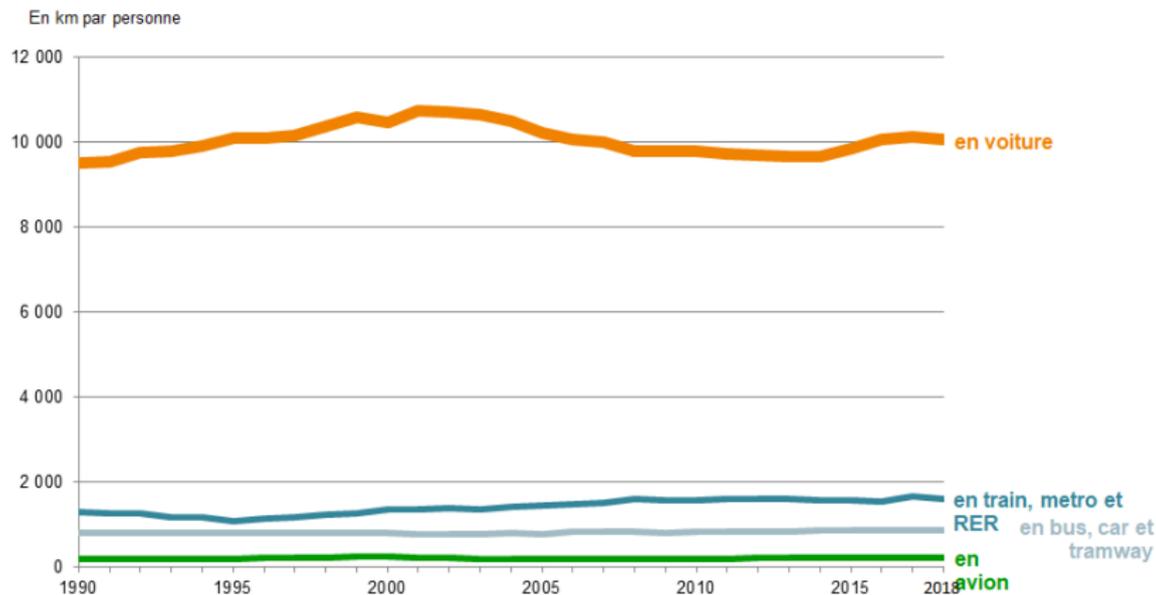


Illustration 2872-

ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS FRANÇAISE DE GES DU SECTEUR DES TRANSPORTS PAR MODE DE TRANSPORT – FRANCE – 1990 / 2019



ÉVOLUTION DES PARCOURS MOYENS ANNUELS PAR PERSONNE – FRANCE – 1990 / 2018



- 1 LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DU SECTEUR DES TRANSPORTS
- 2 UN SUPER PROJET
- 3 LES PDMP
 - LA CROISSANCE DE BACTÉRIE
 - UNE CLASSE SPÉCIFIQUE DE PDMP
- 4 APPLICATION À LA MOBILITÉ
 - COMMENT MODÉLISER LE PROBLÈME ?
 - L'ENVIRONNEMENT INFLUENCE POSITIVEMENT LA MOBILITÉ ?

AGIS TA TERRE, PENSEZ ENVIRONNEMENT POUR CHÂTEAUBOURG

MAI 2020 Création d'ATT, actuellement 154 adhérents

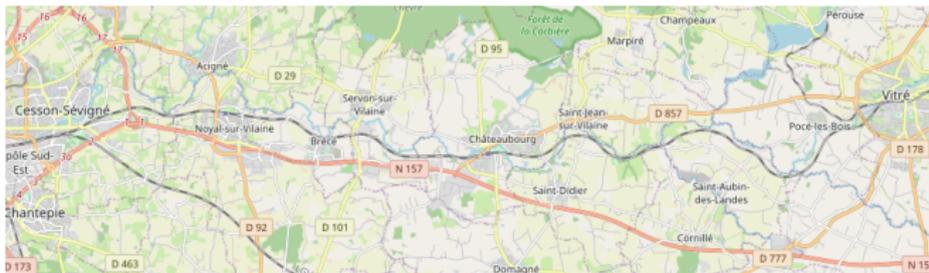
"Association de protection de la nature et de l'environnement"

- **consommation responsable** : repairs-cafés, revalorisation de stylos, lièges, sapins, pommes, ateliers zéro-déchets
- **développement des mobilités douces** : vélorutions, mesures et analyse des mobilités
- **conférences-débats** : grand public sur les enjeux de l'eau, de la pollution, des ressources
- **biodiversité** : référent local des Sentinelles de la Nature, sensibilisation auprès des écoles ou lors de festivals (fabrication de nichoirs, d'hôtels à insectes)

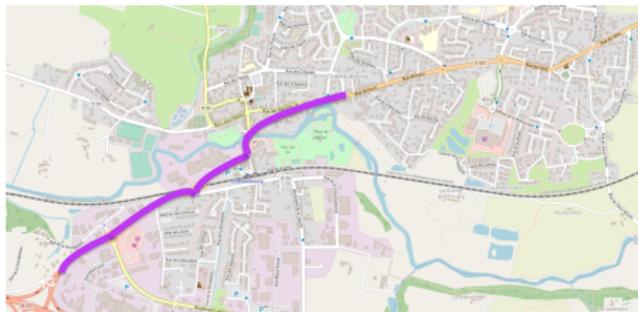
DÉPENDANTE des groupements de nature politique, syndicale, économique...

LOCALE Châteaubourg et communes environnantes

CHÂTEAUBOURG



- Mi-distance entre Rennes et Vitré
- Desservie par le TER et la 4 voies
- 7 000 habitants, forte croissance
- Économie dynamique
- **Bouchons récurrents**



UN RAPPEL HISTORIQUE

OCTOBRE 2019 Étude départementale en vue d'un contournement
308 200 €

FÉVRIER 2021 ATT lance une campagne de mesure sur les mobilités
800 €

MARS 2021 Remise des études au Département et à la Mairie
25 000 000 € (estimation)

MARS 2021 ATT demande l'accès aux études départementales

JUILLET 2021 Le Département annonce un moratoire sur le projet

SEPTEMBRE 2021 Transmission des études départementales à ATT

OCTOBRE 2021 Réunion publique : présentation de l'analyse d'ATT

AUTOMNE 2023 Le Département lancera une consultation citoyenne

LES DONNÉES SONT STRATÉGIQUES... MAIS DIFFICILES D'ACCÈS

70 projets routiers prévus en France ⇒ 55 contestés
18 000 000 000 € (estimation [Reporterre](#))

PRINCIPE DES CAPTEURS

- Un **outil de science citoyenne** développé avec l'**Université de Louvain**, soutenue par l'UE : projet *WeCount*
- Environ **2 000 capteurs** dans le monde (surtout Europe)

TELRAAM

- Capteurs de **mobilités**
- Environ 100 €
- Placés chez des volontaires
- Respect de la RGPD
- Données libres 
- API (application programming interface) de téléchargement

Chaque capteur mesure en continu

- le nombre de :
 - petits véhicules (voitures)
 - gros véhicules (poids lourds)
 - vélos
 - piétons
- toutes les heures de la journée
- dans chaque direction
- la vitesse moyenne des véhicules

PRINCIPE DES CAPTEURS

- Un **outil de science citoyenne** développé avec l'**Université de Louvain**, soutenue par l'UE : projet *WeCount*
- Environ **2 000 capteurs** dans le monde (surtout Europe)

TELRAAM

- Capteurs de **mobilités**
- Environ **200 €**
- Placés chez des volontaires
- Respect de la RGPD
- Données libres 
- API (application programming interface) de téléchargement

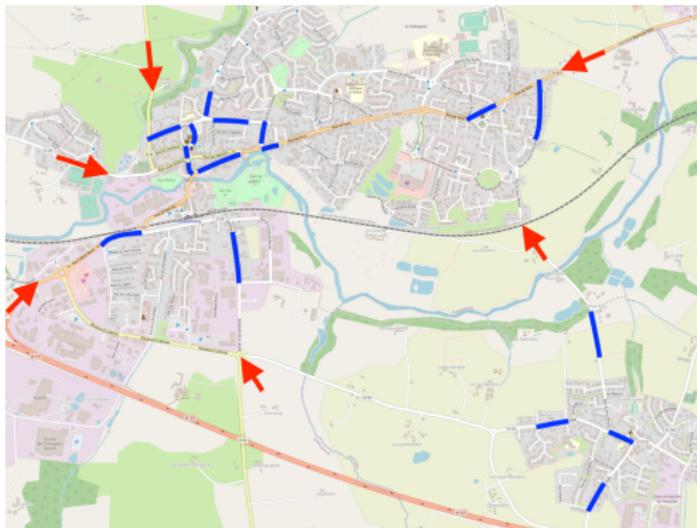
Chaque capteur mesure en continu

- le nombre de :
 - petits véhicules (voitures)
 - gros véhicules (poids lourds)
 - vélos
 - piétons
- **tous les 1/4 d'heures, jour et nuit**
- dans chaque direction
- la vitesse moyenne des véhicules

Version S2 en mars 2023

INSTALLATION DE 17 CAPTEURS SUR DIVERS AXES DE LA VILLE

- Châteaubourg est la commune la plus connectée de France
- Avec 7 000 habitants, elle possède l'une des plus importantes densités de capteurs par habitant du monde.



- 750 000 données disponibles
- Données synchrones sur diverses mobilités
- Ville simplement structurée

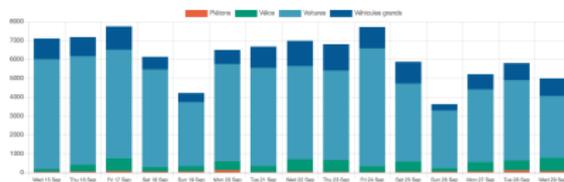
⇒ *toy-model*
de la mobilité

DONNÉES TELRAAM (EXEMPLE DE LA ROUTE DE VITRÉ)

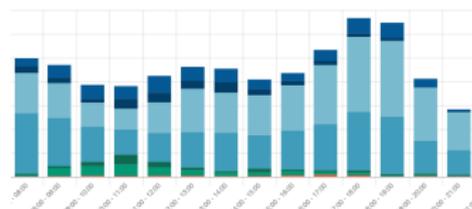


répartition des mobilités

par heure



répartition hebdomadaire



suivant le sens et l'heure

Plus des informations sur la **vitesse de véhicules**
<https://agistaterre.shinyapps.io/mov-around/>

- 1 LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DU SECTEUR DES TRANSPORTS
- 2 UN SUPER PROJET
- 3 LES PDMP
 - LA CROISSANCE DE BACTÉRIE
 - UNE CLASSE SPÉCIFIQUE DE PDMP
- 4 APPLICATION À LA MOBILITÉ
 - COMMENT MODÉLISER LE PROBLÈME ?
 - L'ENVIRONNEMENT INFLUENCE POSITIVEMENT LA MOBILITÉ ?

- 1 LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DU SECTEUR DES TRANSPORTS
- 2 UN SUPER PROJET
- 3 LES PDMP
 - LA CROISSANCE DE BACTÉRIE
 - UNE CLASSE SPÉCIFIQUE DE PDMP
- 4 APPLICATION À LA MOBILITÉ
 - COMMENT MODÉLISER LE PROBLÈME ?
 - L'ENVIRONNEMENT INFLUENCE POSITIVEMENT LA MOBILITÉ ?

Une bactérie croit de manière exponentiel avec un taux τ et lorsqu'elle se divise elle donne naissance à 2 bactéries de même taille (pour simplifier on ne va garder d'une des 2 filles).

- 1 Croissance déterministe entre les sauts : toutes les 20 minutes.
- 2 Croissance aléatoire : les inter-sauts suivent des lois exponentielles de paramètre $1/20$.
- 3 La probabilité pour une bactérie de taille initiale x_0 de se diviser au temps t est $\lambda(x_0 e^{\tau t})$.

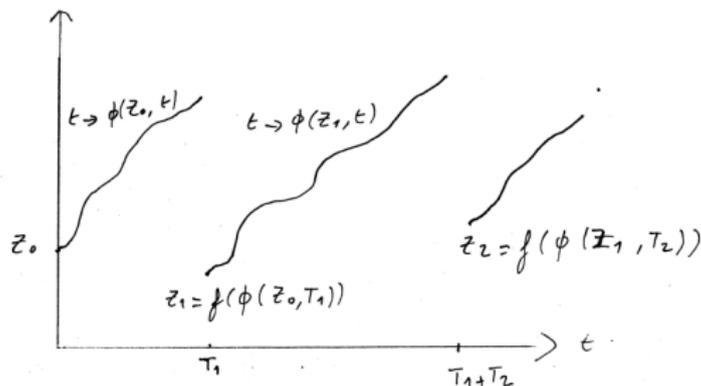
⇒ Doumic, Hoffmann, Krell, Robert, Aymerich et Robert BMC Biology 2014.

⇒ Doumic, Hoffmann, Krell, et Robert Bernoulli 2015.

- 1 LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DU SECTEUR DES TRANSPORTS
- 2 UN SUPER PROJET
- 3 LES PDMP
 - LA CROISSANCE DE BACTÉRIE
 - UNE CLASSE SPÉCIFIQUE DE PDMP
- 4 APPLICATION À LA MOBILITÉ
 - COMMENT MODÉLISER LE PROBLÈME ?
 - L'ENVIRONNEMENT INFLUENCE POSITIVEMENT LA MOBILITÉ ?

UNE CLASSE SPÉCIFIQUE DE PDMP

Le PDMP $(X(t))_{t \geq 0}$ dépend du taux de saut λ , du flux ϕ et d'une fonction déterministe croissante f .



$$\mathbb{P}_x(T_1 > t) = e^{-\int_0^t \lambda(\phi(x, s)) ds}$$

et Z_i l'emplacement post-saut après le i -ième saut.

⇒ Azaïs, Bardet, Genadot, Krell et Zitt ESAIM : P.S. 2016.

UNE CLASSE SPÉCIFIQUE DE PDMP

Il existe un processus $X(t)$ partant d'un point $x \in \mathbb{R}^+$ qui peut être construit comme suit. Considérons une variable aléatoire T_1 telle que

$$\mathbb{P}_x(T_1 > t) = e^{-\Lambda(x,t)} \quad (1)$$

où, pour $x \in \mathbb{R}^+$ et $t \in \mathbb{R}^+$, $\Lambda(x, t) = \int_0^t \lambda(\phi(x, s)) ds$.

Si T_1 est infini, alors le processus X suit le flot, c'est-à-dire que pour $t \in \mathbb{R}_+$, $X(t) = \phi(x, t)$. Sinon, on pose

$$Z_1 = f(\phi(x, T_1)). \quad (2)$$

La trajectoire de $X(t)$ partant de x , pour $t \in [0, T_1]$, est donnée par

$$X(t) = \begin{cases} \phi(x, t) & \text{for } t < T_1, \\ Z_1 & \text{for } t = T_1. \end{cases}$$

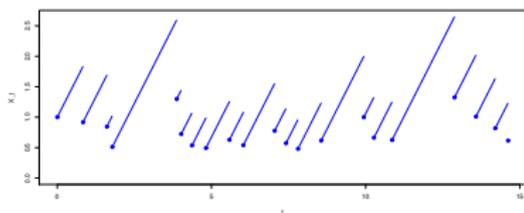
En partant de $X(T_1) = Z_1$, on sélectionne ensuite le prochain temps inter-saut $T_2 - T_1$ et la position post-saut $X(T_2) = Z_2$ de manière similaire.

⇒ Krell ESAIM : P.S. 2016.

⇒ Krell et Schmisser, Bernoulli 2021.

FIGURE – Exemples de simulations de processus (X) et (Z_k) pour $f(x) = x/2$.

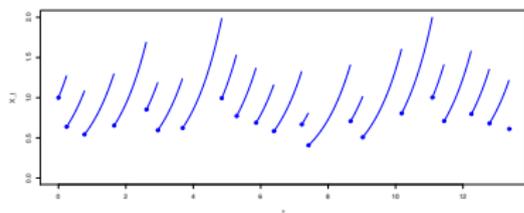
Protocole TCP



$$\phi(x, t) = x + t, \lambda(x) = \sqrt{x}$$

• : process Z_k

Croissance de bactéries



$$\phi(x, t) = xe^t, \lambda(x) = x^2$$

— : process X

- 1 LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DU SECTEUR DES TRANSPORTS
- 2 UN SUPER PROJET
- 3 LES PDMP
 - LA CROISSANCE DE BACTÉRIE
 - UNE CLASSE SPÉCIFIQUE DE PDMP
- 4 APPLICATION À LA MOBILITÉ
 - COMMENT MODÉLISER LE PROBLÈME ?
 - L'ENVIRONNEMENT INFLUENCE POSITIVEMENT LA MOBILITÉ ?

- 1 LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DU SECTEUR DES TRANSPORTS
- 2 UN SUPER PROJET
- 3 LES PDMP
 - LA CROISSANCE DE BACTÉRIE
 - UNE CLASSE SPÉCIFIQUE DE PDMP
- 4 APPLICATION À LA MOBILITÉ
 - COMMENT MODÉLISER LE PROBLÈME ?
 - L'ENVIRONNEMENT INFLUENCE POSITIVEMENT LA MOBILITÉ ?

COMMENT MODÉLISER LE PROBLÈME ?

Le but est de modéliser le déplacement d'une personne au cours du temps.

- 1 On donne un numéro au différent "trajet" possible (1 si la personne est chez elle, 2 pour le trajet de chez elle à son travail, 3 pour le fait d'être à son travail,...) et voit l'évolution au cours du temps de ce processus ;
- 2 Le numéro est remplacé par les coordonnées spatiales à valeur dans \mathbb{R}^2 de la personne.
- 3 On introduira également un processus stochastique $(E_t)_{t \in \mathbb{R}_+}$ d'environnement, affectant la dynamique du processus à travers une ou plusieurs de ses caractéristiques. Ce processus environnemental peut à la fois provenir de facteurs exogènes (e.g. le prix de l'essence, la météo) ou endogènes (e.g. une maladie, un congé).

- 1 LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DU SECTEUR DES TRANSPORTS
- 2 UN SUPER PROJET
- 3 LES PDMP
 - LA CROISSANCE DE BACTÉRIE
 - UNE CLASSE SPÉCIFIQUE DE PDMP
- 4 APPLICATION À LA MOBILITÉ
 - COMMENT MODÉLISER LE PROBLÈME ?
 - L'ENVIRONNEMENT INFLUENCE POSITIVEMENT LA MOBILITÉ ?

COMMENT JOUER SUR L'ENVIRONNEMENT POUR INFLUENCER POSITIVEMENT LA MOBILITÉ

Pour quelles valeurs de la variable environnementale le processus obéit-il à une loi cible correspondant à une dynamique souhaitable pour le système écologique modélisé ?