

**Eléments de cadrage d'une évaluation ex ante des impacts socio-économiques du projet «Pour un Grenelle des mobilités»**

Emmanuel Muller \*+

Jean-Alain Héraud +

\* Fraunhofer ISI, Karlsruhe (Allemagne)  
+ Université de Strasbourg (France)

Novembre 2018

***evoREG Research Note #40***



---

## 1 Contexte et objectifs

L'objectif de cette note est de définir une première grille de lecture qui pose les bases d'une évaluation *ex ante* des impacts socio-économiques du projet «Pour un Grenelle des mobilités», notamment en termes de démarche méthodologique et de résultats attendus. Il s'agit d'établir la démarche méthodologique d'ensemble, de définir le périmètre de l'évaluation (zone géographique concernée; dimensions retenues pour l'analyse et unité de mesure de l'impact).<sup>1</sup>

## 2 Démarche méthodologique

La démarche méthodologique adoptée repose sur la série suivante d'éléments:

- Une évaluation de type *ex ante*;
- Le choix d'adopter la philosophie dite de la «méthode BETA» (voir plus bas);
- Une limitation géographique de l'analyse à l'Eurométropole;
- L'utilisation d'un jeu d'hypothèses permettant la construction de scénarios sur un horizon d'analyse de 10 ans;
- Une unité centrale de mesure de l'impact - à savoir la réduction du niveau de particules fines de type PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> - dans l'atmosphère (voir plus bas).

Le choix de s'inspirer de la philosophie de la méthode BETA et de l'adapter au cas présent repose sur l'idée d'une mesure des impacts sans prise en compte d'effets multiplicateurs. En effet, le calcul d'effets multiplicateurs est toujours sujet à critiques d'un point de vue méthodologique. De fait, l'une des caractéristiques principales de la méthode BETA est d'adopter une philosophie *a minima* (et en d'autres termes, l'hypothèse peut être faite raisonnablement d'impacts supérieurs à ceux effectivement établis sans qu'ils puissent être mesurés). Pour mémoire, les origines de cette méthode remontent aux années 80. Elle a été initialement développée pour l'évaluation d'impact socio-économique des programmes spatiaux européens et du programme BRITE-EURAM. Au fil des décennies, cette approche a été déclinée dans différents domaines (grandes infrastructures de recherche, universités, etc.).<sup>2</sup>

Le choix comme unité centrale de l'évaluation *ex ante* de la réduction du niveau de particules fines de type PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> dans l'atmosphère découle des échanges au sein du groupe de travail. Plusieurs raisons ont été avancées:

---

<sup>1</sup> La présente note a bénéficié du soutien de:

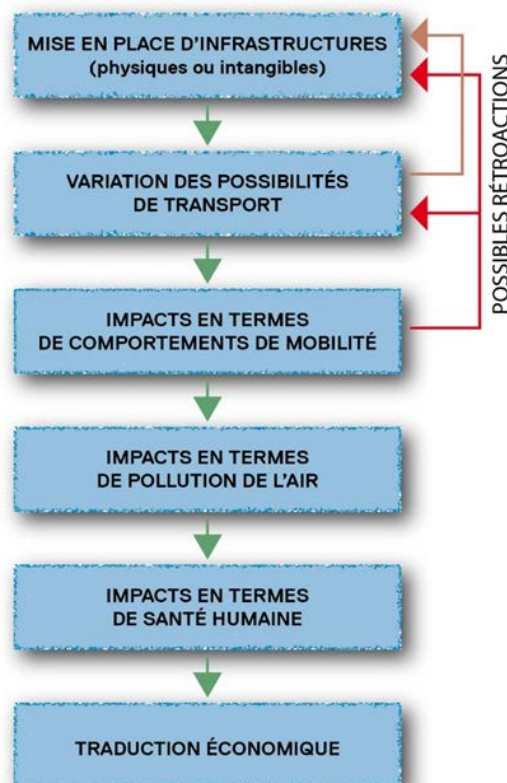
- Jean-Paul MASQUIDA (APR)
- Benoît VIMBERT (ADEUS)
- Nadège BLOND (LIVE - Université de Strasbourg et CNRS)

<sup>2</sup> Voir par exemple: Muller, E., Héraud, J.-A., Zenker, A. (2011): The Impact of Research Infrastructures on Regional Creativity. EvaRIO workshop, Strasbourg, July 4th 2011, p. 6.

- Le taux de particules fines dans l'atmosphère est un bon "marqueur" en milieu urbain d'autres polluants (ex: NO<sub>x</sub> Benzene, etc.);
- A la différence du CO<sub>2</sub> (qui peut être considéré comme un problème global de moyen et long termes), le taux de particules fines constitue avant tout un problème local et régional de court terme (tout en impactant les moyen et long termes, notamment par effets d'accumulation);
- Le lien en taux de particules fines dans l'atmosphère et morbidité humaine est clairement établi;
- A titre d'ordre de grandeur, l'hypothèse peut être faite que l'impact des particules fines sur la santé humaine constitue environ la moitié de l'impact de la pollution atmosphérique en agglomération sur la santé humaine);
- Le calcul du nombre de morts «économisés» à l'échelle locale permet une traduction (annuelle ou cumulée) économique qui peut facilement être établie.

La démarche dans son ensemble est résumée dans le graphique suivant. Les 3 premières étapes s'inspirent d'une approche adoptée par le ministère de l'équipement et des transports, les 3 étapes suivantes ont été développées spécifiquement pour le présent exercice.

**Figure 1: Schéma de synthèse de l'approche évaluative adoptée**



Source: CERTU (2002) Recommandations pour l'évaluation socio-économique des projets de TCSP, p. 27

---

### 3 Données de cadrage

L'OCDE évalue à 54,3 Milliards d'USD pour la France en 2010 le coût de la pollution atmosphérique en France (Doc 1). Les échanges au sein du groupe de travail ont permis d'avancer une évaluation prudente à l'échelle de l'EMS du coût de la pollution atmosphérique de plus de 3 Milliards d'Euros par an a minima (toutes formes de pollution atmosphérique confondues), dont la moitié est imputable aux seules particules fines (PM).

A titre d'ordre de grandeur, l'impact sur la santé humaine des seules PM à Londres ou Paris peut être estimé à environ 30 Milliards d'Euros par an. Si les PM constituent un bon indicateur de la pollution atmosphérique d'ensemble et correspondent à environ la moitié de la pollution atmosphérique d'ensemble, l'impact sanitaire (ou la morbidité seule) de la pollution d'ensemble pourrait être un facteur 1,5 ou 2 de l'impact des PM.

C'est la démarche retenue par le rapport Santé publique France (publié en 2016) qui permet notamment d'identifier des données précises concernant le Grand Est en comparaison avec les autres Régions françaises. L'un des éléments clés de l'analyse est la détermination du % de décès évitables pour différents scénarios. Dans le scénario le plus probable (dit des «communes équivalentes les moins polluées») environ 4000 décès seraient évitables par an dans le Grand Est (soit 9% des décès). Il est à noter que ce taux est à peine inférieur aux taux de décès évitables en Ile de France et dans les Hauts de France (10% dans les deux cas). Pour mémoire, c'est en Occitanie que ce taux est le plus faible (soit 4%).

En termes d'ordre de grandeur, le coût économique des PM pour la Région Grand Est correspond à environ 12 milliards d'Euros par an (soit environ 8% du PIB régional annuel).

Figure 2: Données relatives à la Région Grand Est

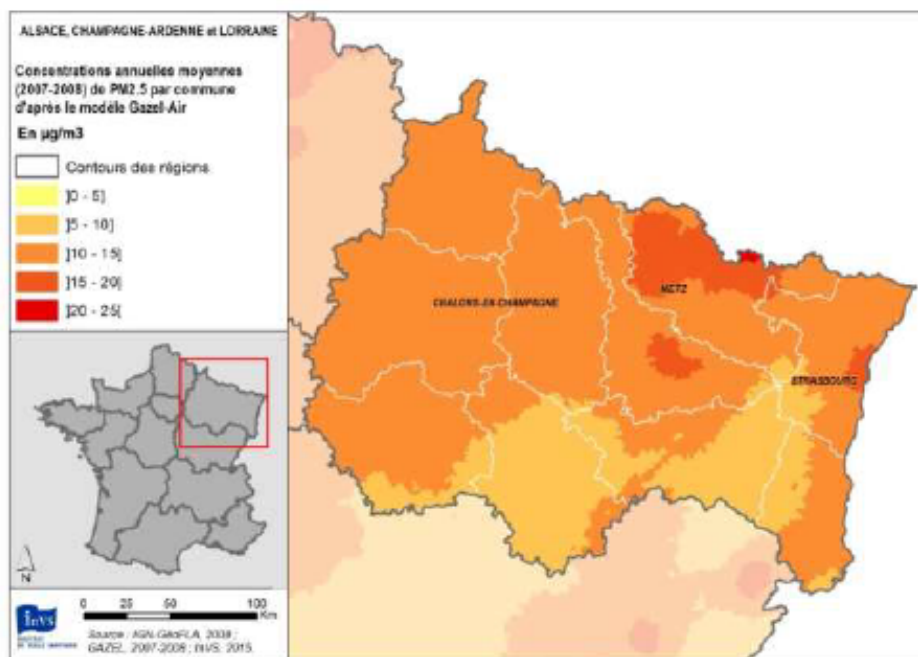
Densité de population (habitants/km<sup>2</sup>)

Tableau 2 I

Concentrations annuelles moyennes de PM<sub>2,5</sub> et population exposée à plus de 10, 15 et 20 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle au cours de la période 2007-2008

	Concentration annuelle moyenne de PM <sub>2,5</sub>			Population exposée à plus		
	Ensemble de la zone µg/m <sup>3</sup>	Commune la moins exposée µg/m <sup>3</sup>	Commune la plus exposée µg/m <sup>3</sup>	de 10 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle	de 15 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle	de 20 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle
<b>Alsace</b>	<b>11,7</b>	<b>6,0</b>	<b>16,7</b>	<b>1 634 254</b>	<b>469 238</b>	<b>0</b>
Bas-Rhin (67)	12,4	7,6	16,7	1 041 486	469 238	0
Haut-Rhin (68)	10,7	6,0	13,6	592 768	0	0
<b>Champagne-Ardenne</b>	<b>11,2</b>	<b>8,6</b>	<b>14,1</b>	<b>1 191 961</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Ardennes (08)	11,9	10,8	13,1	284 511	0	0
Aube (10)	10,7	9,3	11,8	272 868	0	0
Haute-Marne (51)	9,7	8,6	11,5	68 130	0	0
Marne (52)	12,1	10,9	14,1	566 453	0	0
<b>Lorraine</b>	<b>12,5</b>	<b>5,8</b>	<b>22,1</b>	<b>2 053 811</b>	<b>1 158 869</b>	<b>66 230</b>
Meurthe-et-Moselle (54)	12,9	8,8	18,5	724 304	319 072	0
Meuse (55)	11,4	9,8	13,2	193 195	0	0
Moselle (57)	15,1	9,3	22,1	1 036 250	839 797	66 230
Vosges (88)	9,6	5,8	11,1	100 063	0	0

Figure 2 I



Concentrations annuelles moyennes de PM<sub>2,5</sub> (moyenne 2007-2008, µg/m<sup>3</sup>)

Source: Santé publique France (2016): Impact de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyse des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique, p. 70.

---

## 4 Détermination de l'impact sanitaire d'une amélioration de la qualité de l'air au travers du Grenelle des mobilités

La question centrale de l'évaluation ex ante de l'impact socio-économique dans le cas est de combien le Grenelle des mobilités peut-il diminuer la pollution de l'air dans l'Eurométropole de Strasbourg. En d'autres mots, il s'agit de déterminer précisément les outils permettant de mesurer les écarts attendus (notamment en termes de morbidité) d'une diminution de la pollution atmosphérique dans l'Eurométropole de Strasbourg. A ce stade de la réflexion du groupe de travail, différentes modalités peuvent être envisagées.

L'approche la plus simple peut être résumée par les hypothèses de l'Agence Régionale de Santé (ARS) qui correspondent à une relation linéaire: «la concentration de polluants et les effets sur la santé est linéaire, c'est-à-dire qu'il n'existe pas de concentration en dessous de laquelle aucun impact sanitaire ne serait observé»<sup>3</sup>. A contrario, une approche plus complexe repose sur l'existence d'effets de seuil ce qui conduit à l'hypothèse d'une relation non-linéaire (voir dans l'encadré 1 la méthode employée par Santé publique France).

En résumé, l'étape suivante consistera à déterminer si une diminution de par exemple de 10% pollution de l'air (partant d'un niveau élevé qui correspond à celui de l'Eurométropole de Strasbourg) conduit à une réduction de plus de (ou de moins) de 10 % du niveau total de mortalité induit par cette pollution élevée.

De plus il s'agira d'intégrer dans le calcul d'estimation la logique a minima de cette évaluation pour qu'elle corresponde à la «philosophie» de la méthode BETA (c'est à dire du choix en termes d'évaluation d'un impact plutôt sous-estimé que surestimé). Ainsi la logique a minima conduit également à limiter dans un premier temps l'analyse de l'impact à la seule morbidité ou à la baisse de l'espérance de vie moyenne. Autres conséquences sanitaires de la pollution atmosphérique (par exemple le nombre de jours de travail perdus pour causes respiratoires et cardio-vasculaires) ne sont pas prises en compte même si elles sont bien réelles et pourraient dans le futur être intégrées à l'analyse d'ensemble.

---

<sup>3</sup> Voir ARS (2012): Note de synthèse relative à l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans l'agglomération de Strasbourg, p. 1.

## Encadré 1: Méthode de calcul de l'impact sur la mortalité (selon Santé publique France)

Comme indiqué précédemment, la relation PM<sub>2,5</sub>-mortalité retrouvée aux concentrations observées en Europe est log-linéaire sans seuil. Dans ce cas, la baisse du nombre de cas  $\Delta y$  associée à une baisse des niveaux de pollution  $\Delta x$  se calcule à partir de l'équation :

$$\Delta y = y_0(1 - e^{-\beta \Delta x})$$

Où  $y_0$  est le nombre de cas observés dans la population au niveau actuel de pollution  $x_{obs}$ .

$\beta$  est la pente de la relation polluant- logarithme de la mortalité. Pour un RR exprimé pour une augmentation de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de polluant,  $\beta = \ln(\text{RR})/10$ .

$\Delta x$  représente la baisse de la pollution dont on veut estimer l'impact.

Quand on s'intéresse à un scénario utilisant une valeur cible  $x_{cible}$ .

$$\Delta x = x_{obs} - x_{cible} \text{ si } x_{obs} > x_{cible}$$

$\Delta x = 0$  si  $x_{obs} \leq x_{cible}$  : la concentration observée étant déjà en dessous de la valeur cible, il n'y a pas de bénéfices sanitaires à atteindre la valeur cible.

$\Delta y$  représente l'écart entre le nombre de décès observés aujourd'hui  $y_{obs}$ , et le nombre de décès attendus au niveau de pollution du scénario  $y_{sc}$ .

L'intervalle de confiance à 95 % de  $\Delta y$  se calcule en utilisant les bornes hautes et basses de l'intervalle de confiance à 95 % du  $\beta$ .

Lorsqu'aucun décès n'est enregistré dans une commune pendant la période d'étude, ou lorsque les concentrations estimées dans la commune sont inférieures à la concentration hypothétique du scénario, le résultat de l'EQIS est nul dans cette commune.

Ce calcul est réalisé pour chaque commune puis les résultats sont agrégés pour obtenir des estimations départementales, régionales et nationales.

Source: Santé publique France (2016): Impact de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyse des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique, p. 14.

## 5 Application à l'Eurométropole de Strasbourg par l'introduction de scénarios

L'approche proposée consiste à adopter des jeux d'hypothèses qui conduisent à différents scénarios. Chacun des scénarios (à savoir bas, médian et haut) correspondent à un niveau d'utilisation et de «succès» des actions déployées dans le cadre du Grenelle des mobilités.

A chacun de ces scénarios est associé un degré de réduction des émissions des particules fines dans l'atmosphère de l'Eurométropole. Cette réduction correspond à des projections de baisse du trafic automobile générée par la mise en place d'infrastructures ou par la mise en œuvre de nouvelles solutions concernées<sup>4</sup>. Une première étape consisterait à calculer une réduction des émissions de particules  $\Delta E$ , associée à une réduction des distances parcourues par des véhicules  $\Delta L$ :

$$\Delta E = EF * F * \Delta L \text{ (avec } EF: \text{ facteur d'émission; } F: \text{ flux de véhicule; } L: \text{ distances parcourues)}$$

<sup>4</sup> A titre d'exemple et selon l'ATMO les émissions 2014 du transport routier dans l'Eurométropole représentent 2950 tonnes NO<sub>x</sub> et 193 tonnes PM<sub>10</sub>. Une réduction de 100000 km/véhicule sur un an représenterait un delta de -72 kg NO<sub>x</sub> et -5,6 PM<sub>10</sub> par an. Données recueillies auprès d'Emmanuel Rivière lors d'échanges le 21/11/2017.

---

L'impact de cette réduction est alors exprimé en impact sur les concentrations de particules et la santé sur un horizon de 10 ans (par exemple sur un mode cumulatif non-linéaire) pour finalement être monétarisée. Des outils récemment développés pourraient être mobilisés. Le modèle SHERPA (voir encadré 2) pourrait être utilisé pour calculer l'impact de réduction des émissions sur les concentrations de l'ensemble de la Grande Région.

### Encadré 2: l'outil SHERPA

SHERPA (Screening for High Emission Reduction Potential on Air) is a Java/Python tool, which allows for a rapid exploration of potential air quality improvements resulting from national/regional/local emission reduction measures. The tool has been developed with the aim of supporting national, regional and local authorities in the design and assessment of their air quality plans.

The tool is based on the relationships between emissions and concentration levels, and can be used to answer the following type of questions:

- What is the potential for local action in my domain?
- What are the priority activity, sectors and pollutants on which to take action and,
- What is the optimal dimension that my policy action domain (city, region...) should have to be efficient?"

The SHERPA tool is distributed with EU-wide data on emissions and source-receptor models (spatial resolution of roughly 7x7 km<sup>2</sup>), so that it is very easy to start working on any region/local domain in Europe.

More specifically, SHERPA logical pathway is implemented through the following steps:

- Source allocation: to understand how the air quality in a given area is influenced by different sources;
- Governance: to analyze how one should coordinate with the surrounding regions to optimally improve air quality;
- Scenario analysis: to simulate the impact on air quality of a specific emission reduction scenario (defined also through the previous two steps)

SHERPA can also provide input data to be used by RIAT+ (The Regional Integrated Assessment Tool), the advanced tool for Integrated Assessment Modeling dealing with the cost-effectiveness of measures.

<http://aqm.jrc.ec.europa.eu/sherpa.aspx>

L'outil RIAT+ de l'UE pourrait également dans cette perspective être mis à contribution en tant qu'outil de modélisation (voir encadré 3) pour évaluer l'impact des scénarios sur la santé et coûts sanitaires associés, et comparer ces coûts aux coûts d'implémentation de stratégies de réduction.



---

### Encadré 3: l'outil RIAT+

RIAT+ is a regional Integrated Assessment Modelling tool developed during the OPERA project (LIFE09 ENV/IT/000092). It has been designed to help regional decision makers to select optimal air pollution reduction policies that will improve the air quality at minimum costs.

To achieve this, the system incorporates explicitly the specific features of the area of interest with regional input data-set for the:

- precursor emissions of local and surrounding sources
- abatement measures (technical and non-technical/energy) described per activity sector and technology with information on application rates, emission removal efficiency factor and cost
- the effect of meteorology and prevailing chemical regimes through the use of site specific source-receptor (S/R) functions

The tool allows two possible decision pathways: scenario analysis and optimization. The main outputs from RIAT+ are a summary of emission reductions on the domain, a table of the application rates for the different measures, maps of a set of relevant air quality indexes (AQIs) and, for the optimization pathway, the Pareto Curve providing the efficient solutions of a specific AQI ranked by costs.

The S/R model is used, internally, to link emissions to an AQI. The S/R model can be as simple as a linear relationship, or as complex as a chemical transport model. To limit the computational time, RIAT+ currently uses a nonlinear relations identified by means of Artificial Neural Networks (ANNs), tuned to replicate the results of a limited set of simulations performed by the users with deterministic air quality model calibrated of the specific site.

<http://www.riatplus.eu/html/eng/home.html>

Outre les hypothèses qui pourront être formulées par le groupe de travail, notons l'existence du modèle (outil web) SHERPA développé par l'Union Européenne et qui pourrait être mis à contribution.

A titre d'exemple, une synthèse de scénarios de réduction de la pollution de l'air dans l'Eurométropole de Strasbourg pourrait prendre la forme suivante en fonction de la formulation de scénarios (voir p. suivante):

**Tableau 1: Exemple de scénarios**

Scénarios d'accomplissement du Grenelle des mobilités	Diminution en termes de véhicules	Diminution en termes de millions km/an (la première année)	Effets cumulés sur 10 ans	Variation en termes de pollution atmosphérique – Polluant A	...	Variation en termes de pollution atmosphérique – Polluant W	Impact sanitaire*
<b>Scénario bas</b>	- 0	[ 0 ]	0	0	...		0
<b>Scénario médian</b>	- 20 000	[ 15-60 ]	Fonction à déterminer (par exemple algorithmique)	Fonction à déterminer (par exemple exponentielle)	...	Fonction à déterminer (par exemple exponentielle)	X
<b>Scénario haut</b>	- 50 000	[ 30-150 ]	Fonction à déterminer (par exemple algorithmique)	Fonction à déterminer (par exemple exponentielle)	...	Fonction à déterminer (par exemple exponentielle)	Y

\* Exprimé en mois d'espérance de vie/habitant pour l'ensemble de la population de l'Eurométropole à l'issue des 10 années ou en nombre de décès évités sur la même période.

---

Concernant la traduction monétaire des impacts évalués la démarche est celle adoptée par l'OCDE qui recommande d'utiliser une valeur statistique de la vie (VVS) de référence entre 1,5 million et 4,5 millions USD (USD de 2005) pour les pays de l'OCDE ou pour l'UE-27, ce qui correspond *a minima* à 3 millions d'Euros pour la France.<sup>5</sup> Cette valeur correspond également aux éléments avancés dans le rapport Quinet (2013) et sera donc retenu pour le reste de l'analyse.<sup>6</sup> Notons que la démarche adopte une traduction financière en Euros cumulés sur 10 ans. Là encore, dans une logique de mesure *a minima* les données ne seront pas redressées par intégration d'effets de possible inflation ou autres.

## 6 Approfondissement et prochaines étapes

A titre indicatif, la mise en œuvre et l'approfondissement de la démarche pourraient correspondre aux étapes suivantes:

1. La prise en compte de variables supplémentaires (réduction accidents de la route, emplois générés, qualité de vie perçue, temps de congestion économisés etc.). Il est à noter que dans le cas de la France dans son ensemble les externalités négatives liées à la circulation automobile seraient de l'ordre des 12 centimes d'Euros par km parcouru.<sup>7</sup>
2. L'organisation de collectes de données (enquêtes) ou de synthèse de données existantes.
3. L'affinage des scénarios (notamment en termes d'hypothèse et de modes de calcul des effets cumulés)
4. La mise à contribution des modèles de trafic de l'Eurométropole (qu'il s'agirait de les faire "tourner" spécifiquement sur cette problématique).
5. L'introduction de la dimension transfrontalière (notamment l'Eurodistrict) dans l'évaluation des impacts socio-économiques du Grenelle des mobilités.
6. Une déclinaison au niveau des projets constitutifs du Grenelle des mobilités (par exemple le projet de réseau «S-Bahn métropolitain et transfrontalier, ferroviaire et routier») afin d'en mesurer individuellement l'impact socio-économique.
7. La réalisation d'une analyse coûts-bénéfices débouchant sur une estimation du taux de rentabilité (à moyen et long termes) des investissements consentis dans le cadre du Grenelle des mobilités.

---

<sup>5</sup> <http://www.oecd.org/fr/env/outils-evaluation/env-valeur-vie-statistique.htm>

<sup>6</sup> Cf. Émile Quinet, rapport «L'évaluation socioéconomique des investissements publics» pour le Commissariat général à la stratégie et à la prospective, septembre 2013, p. 105

<sup>7</sup> Chiffres avancés dans l'édition du Monde datée 16-17 décembre 2017.