

Ligne à Grande Vitesse

**Paris – Orléans – Clermont-Ferrand – Lyon**



## Economie et socio économie

**CALCUL DES PERFORMANCES  
ECONOMIQUES ET NATURELLES  
LIEES A L'ACCESSIBILITE  
Rapport n°1**

Septembre 2011



setec international



Réseau ferré de France (RFF), propriétaire du réseau ferré national et maître d'ouvrage du projet, a initié des études générales et techniques d'une ligne à grande vitesse (LGV)

Paris – Orléans – Clermont-Ferrand – Lyon.

Ces études sont cofinancées par l'Etat, la Région Ile-de-France, la Région Centre, la Région Bourgogne, la Région Auvergne, la Région Rhône-Alpes et RFF.

Au stade amont actuel, les études visent à éclairer les fonctionnalités et les enjeux majeurs qui constituent le fondement des orientations possibles. Dans ce contexte, et si l'opportunité de la ligne était confirmée par le débat public, les analyses feront l'objet d'études de plus en plus détaillées, selon les processus habituels.

Dans ce cadre, le document qui suit constitue le rapport n°1 sur le calcul des performances économiques et naturelles liées à l'accessibilité.

Il a été établi par Setec international, et son contenu reste de sa propre responsabilité.

# Sommaire

<b>1. PREAMBULE</b>	<b>1</b>
<b>1.1. OBJET DE L'ETUDE</b>	<b>1</b>
<b>1.2. CONTEXTE DU PROJET</b>	<b>1</b>
1.2.1. Les objectifs du projet	1
1.2.2. Les scénarios et les variantes d'accès	2
<b>1.3. NOTION D'ACCESSIBILITE</b>	<b>3</b>
<b>1.4. OBJECTIFS DE L'ETUDE</b>	<b>5</b>
<b>2. METHODOLOGIE</b>	<b>6</b>
<b>2.1. SYNOPTIQUE DES ADAPTATIONS METHODOLOGIQUES</b>	<b>6</b>
<b>2.2. METHODE D'EVALUATION DES PERFORMANCES ECONOMIQUES ET NATURELLES (INSTRUCTION DU 25 MARS 2004 / ANNEXE 2)</b>	<b>7</b>
2.2.1. Principes exposés dans l'instruction cadre du 25 mars 2004	7
2.2.2. Calcul des performances économiques	10
2.2.3. Calcul des performances naturelles	16
<b>2.3. ADAPTATION DE LA METHODE DE REFERENCE AU PROJET</b>	<b>19</b>
2.3.1. Préambule	19
2.3.2. Utilité nette versus utilité brute : valorisation de l'accès à l'ensemble des zones	19
2.3.3. Calcul des coûts généralisés	21
2.3.4. Dépendance du salaire horaire à l'accessibilité	23
2.3.5. Formulation finale de l'utilité nette pour les performances économiques	26
<b>2.4. MISE EN ŒUVRE DE LA METHODE / APPLICATION A POCL</b>	<b>27</b>
2.4.1. Zonage et découpage de l'information géographique	27
2.4.2. Données disponibles / données utilisées	30
<b>2.5. DEVELOPPEMENTS METHODOLOGIQUES COMPLEMENTAIRES</b>	<b>32</b>
2.5.1. Segmentation de la population en classes de revenus	32
2.5.2. Sensibilité du gain de performance économique à la valeur du alpha	33
2.5.3. Actualisation de la valeur du coefficient $\alpha$	34
<b>2.6. ESTIMATION DES GAINS DE PERFORMANCES NATURELLES</b>	<b>38</b>
<b>3. RESULTATS</b>	<b>39</b>
<b>4. DISCUSSION / CONCLUSION</b>	<b>80</b>
<b>4.1. SUR LA METHODE</b>	<b>80</b>

4.1.1. Prise en compte de la spécificité des déplacements longue distance et grande vitesse	80
4.1.2. Différences entre les méthodes de calcul des coûts généralisés	80
<b>4.2. SUR LE PROJET ET LES SCENARIOS ETUDIES</b>	<b>81</b>
4.2.1. Gains de performances économiques et naturelles générés par le projet	81
4.2.2. Effets territoriaux des différents scénarios	82

# 1. PREAMBULE

---

## 1.1. OBJET DE L'ETUDE

Dans le cadre des études préalables au débat public, une évaluation socio économique de la LGV POCL a été réalisée par setec international, prestataire ayant en charge les études générales, économiques et prospectives. Cette évaluation renvoie à la méthode classique de l'analyse coût-avantage.

Conformément à la circulaire Robien de 2004, il convient d'éclairer plus largement le débat et de fournir des éléments de clarification des choix relatifs à l'impact sur les territoires et aux effets structurants du projet en matière de développement de ces territoires.

La présente étude a pour objectif de fournir des estimations et des représentations cartographiques de la création de valeur que la nouvelle ligne pourrait engendrer selon la méthode dite des performances économiques et naturelles des territoires liées à l'accessibilité esquissée dans l'annexe II de la circulaire Robien de 2004.

## 1.2. CONTEXTE DU PROJET

Le projet LGV POCL ([www.lgv-pocl.fr](http://www.lgv-pocl.fr)) consiste en une ligne à grande vitesse d'environ 450 à 500 km entre Paris et Lyon visant à améliorer les relations ferroviaires des territoires du centre de la France et à compléter le maillage du réseau national à grande vitesse comme le prévoit la loi Grenelle d'Août 2009.

Le territoire concerné aujourd'hui éloigné de la grande vitesse recouvre la région Centre en grande partie, la région Auvergne et les départements de la Nièvre, de la Saône-et-Loire et de la Loire. Par souci de simplification, nous parlerons par la suite de territoire grand Centre Auvergne.

La nouvelle infrastructure entre Paris et Lyon a aussi pour vocation de constituer à terme un itinéraire complémentaire à la LGV Paris – Lyon existante, déjà très sollicitée et dont la charge sera fortement accrue avec les différents projets prévus à horizon 2020 – 2025 (LGV PACA, Lyon – Turin, ligne nouvelle Montpellier – Perpignan, contournement de Nîmes – Montpellier, ...).

### 1.2.1. Les objectifs du projet

Les objectifs tels qu'apparaissant dans la lettre ministérielle d'initiation des études préalables au débat public sont les suivants :

- relier Orléans au réseau des trains à grande vitesse,
- assurer à terme un temps de parcours inférieur à deux heures entre Paris et Clermont-Ferrand,
- améliorer la desserte de Bourges et des villes du grand centre.

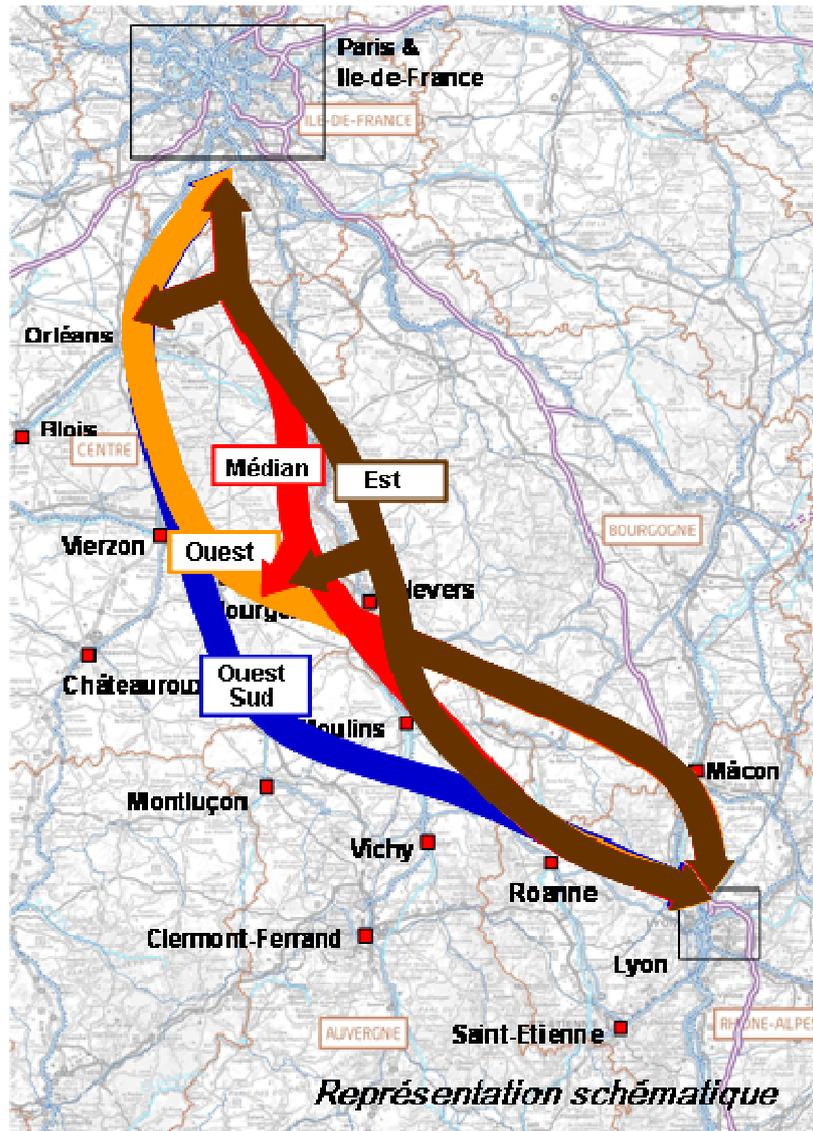
Au-delà, le projet vise aussi à constituer un itinéraire alternatif pertinent à l'actuelle ligne à grande vitesse Paris – Lyon.

Les fonctionnalités attendues ont été discutées et complétées avec les partenaires du projet, ce qui a permis de mieux cerner des enjeux complémentaires pour définir les scénarios du projet, dont :

- une connexion possible aux plates-formes aéroportuaires (Roissy, Orly, Lyon-Saint-Exupéry) ;

- une articulation avec les transports locaux, en particulier en Ile-de-France et à Lyon, où le projet peut contribuer à leur développement : libération de capacité du réseau et contribution à l'amélioration des RER C et D, cohérence avec la démarche menée pour un développement des services au nœud ferroviaire lyonnais ;
- l'amélioration de relations transversales, notamment la relation Clermont-Ferrand – Roanne – Lyon, mais aussi la relation des villes du Centre et de la Bourgogne avec Rhône-Alpes et le sud-est ;
- l'amélioration de la relation entre la façade atlantique d'une part, la région lyonnaise et le sud-est d'autre part.

### 1.2.2. Les scénarios et les variantes d'accès



Plusieurs scénarios seront proposés au débat comme le montre le schéma ci-dessus. Ils se distinguent par des gains de temps et des dessertes quelque peu différents pour chacune des villes du grand centre considérées par le projet, ainsi que par des gains de temps entre Paris et Lyon différents.

Hormis le scénario Ouest Sud, tous ces scénarios peuvent atteindre la métropole lyonnaise selon deux variantes :

- l'une passe par Mâcon et rejoint Lyon suivant l'itinéraire de la LGV actuelle, qu'il serait nécessaire de doubler entre Mâcon et Lyon. L'utilisation de la LGV POCL par les TAGV Paris – Genève devient possible ;
- l'autre passe par Roanne et rejoint Lyon dans le secteur de Montanay. Ce sont l'amélioration de la desserte de Roanne et celle de la desserte interrégionale entre Clermont-Ferrand et Lyon qui deviennent possibles. En option du projet, l'électrification de la ligne Roanne – Saint-Etienne permettrait alors une desserte de St-Etienne avec Paris sans passer par Lyon.

Dans le cadre de cette première étude, nous analysons les effets de deux scénarios :

- le scénario Ouest-Sud ;
- le scénario médian – avec les deux variantes d'arrivée dans la métropole lyonnaise : par Roanne ou par Mâcon.

### 1.3. NOTION D'ACCESSIBILITE<sup>1</sup>

*Le ministre de l'équipement et des transports a signé le 25 mars 2004 une instruction cadre qui permet d'évaluer l'impact économique des grandes infrastructures de transport. Cette instruction porte sur « l'harmonisation des méthodes d'évaluation des grands projets d'infrastructures de transport ».*

*Pour procéder aux évaluations quantitatives, elle renvoie à deux annexes.*

*La première permet d'évaluer d'une part le poids économique que l'on peut attribuer aux gains de temps induits par le projet étudié. Elle permet également d'évaluer les gains monétaires qui résultent des améliorations de fonctionnement des services empruntant la nouvelle infrastructure. Elle permet enfin de calculer le poids des différentes nuisances induites par l'ouvrage, ou encore économisées, telles que l'insécurité routière, le bruit, la pollution atmosphérique et enfin l'effet de serre.*

*L'annexe numéro 2, plus novatrice, permet d'évaluer l'intérêt économique des nouvelles destinations accessibles au sein du territoire desservi par le projet. Les résidents qui vivent, travaillent et se distraient au sein du territoire qu'ils parcourent quotidiennement, se déplacent pour accéder à des biens ou des services convoités qu'ils ne peuvent se procurer sur place. On peut citer comme premier exemple celui de l'emploi. Un résident hautement spécialisé ne trouvera pas sur place l'emploi correspondant à sa formation. Pour trouver une offre correspondant à sa spécialité, il devra se déplacer et rechercher l'emploi convoité au sein du territoire desservi par les différents systèmes de transport, sans toutefois dépasser un temps de déplacement raisonnable. Le fait de pouvoir accéder à un emploi qui correspond parfaitement à sa formation lui permet d'être plus efficace que dans l'hypothèse où il serait conduit à choisir un emploi non adapté à son savoir-faire. **Le supplément de***

<sup>1</sup> D'après un texte de Jean Poulit, ancien directeur général de l'Institut Géographique National et auteur de l'annexe II à la circulaire Robien qui jette les bases de la méthode des performances économiques et naturelles liées à l'accessibilité : « Dires d'expert sur l'accessibilité », publié par la Commission Nationale du Débat Public / Commission particulière du débat public sur le projet du prolongement de l'A12, <http://cpdp.debatpublic.fr/cdpd-a12/docs/pdf/experts/dire-d-expert-poulit.pdf>.

**performance qu'il apporte ainsi à l'entreprise, et donc à la collectivité, lui permet en retour d'être mieux rémunéré.** Le supplément de rémunération qu'il acquiert dans ces circonstances est supérieur au temps et à l'argent qu'il consacre à se déplacer quotidiennement pour le motif travail. Au total, l'utilité brute de sa destination est supérieure au coût de son transport. On dit que l'utilité nette dont bénéficie l'actif est positive. S'il n'en était pas ainsi, il ne se déplacerait pas. Il resterait à proximité de son lieu de résidence.

On observe sur cet exemple que l'adaptation de l'actif à l'emploi recherché sera d'autant meilleure que, dans un temps de transport donné, le choix qu'il pourra effectuer entre différents emplois disponibles sera pertinent. **Et il le sera d'autant plus que le nombre d'emplois entre lequel un choix pourra être effectué sera élevé.** On voit donc que l'étendue des choix d'emplois auxquels un actif peut accéder revêt pour lui une grande importance. Plus le système de transport permettra, dans un temps donné, d'accéder à un marché d'emplois vaste, plus il sera performant dans son activité et plus la création de richesse sera élevée.

Ce qui est dit pour le travail quotidien peut être transposé, dans des conditions similaires, aux autres activités que déploie un ménage au cours d'une journée, telles qu'acheter, s'instruire, faire des affaires professionnelles ou personnelles. **Plus le potentiel d'offre de biens ou services dans un temps de transport donné est élevé, plus la satisfaction augmente et plus il y a création de richesses.**

L'annexe 2 de l'instruction cadre du 25 mars 2004 donne des formules qui permettent de déterminer la création de valeur économique associée à ce phénomène d'accès à des biens et des services de plus en plus étendus, dans un temps de transport qui, lui, ne varie pas.

Les formules employées visent à déterminer par exemple le nombre d'emplois auxquels un actif résidant dans une commune peut accéder dans le double du temps moyen quotidien d'accès au lieu de travail, c'est-à-dire deux fois 30 minutes, soit encore une heure, trajets terminaux compris, ou 40 minutes, hors trajets terminaux. Elle vise également à déterminer le nombre d'emplois tertiaires auxquels un résident peut accéder dans un temps de transport donné, par exemple pour effectuer des achats ou des affaires. À partir de cette valeur d'emplois accessibles dans un temps donné, on peut déterminer l'utilité que le résident attache au choix de l'emploi qu'il effectuera effectivement. En retirant le coût généralisé du déplacement pour accéder à cet emploi, on détermine l'utilité nette du déplacement.

Le même processus s'applique pour tous les autres motifs de déplacement qui ont une fonction économique. **En faisant l'addition de ces utilités associées aux différents motifs de la vie quotidienne, on obtient une évaluation de l'utilité économique du réseau de transport desservant un territoire donné.**

Lorsqu'une infrastructure nouvelle est envisagée, on peut évaluer l'utilité des destinations accessibles dans un temps donné en situation « avant la réalisation de l'infrastructure » et en situation « après réalisation de l'infrastructure ». Le temps et le coût généralisé de transport en général ne varient pas, ou très peu, et c'est bien la valorisation des destinations commodément accessibles qui apparaît. L'annexe 2 de l'instruction cadre du 25 mars 2004 prend ainsi le relais de l'annexe 1 en stabilisant les temps de transport, ce qui est conforme aux résultats des enquêtes de transport, et **en valorisant l'augmentation du nombre de destinations accessibles dans un temps qui ne varie pas.**

Certains déplacements n'ont pas de fonction économique. Il s'agit des déplacements qui répondent principalement **aux besoins de ressourcement** : se promener, se distraire dans un cadre naturel agréable, respirer. Dans ce cas, on constate que le résident est sensible à la variété des espaces naturels au sein desquels il peut effectivement se ressourcer. On détermine alors la quantité d'espaces auxquels un résident peut accéder, dans un temps de transport donné. La valorisation est étudiée avant réalisation de l'infrastructure projetée et après réalisation de cette infrastructure. Le gain observé est porté au bilan du projet envisagé, toujours dans un temps de transport qui ne varie pas.

En ajoutant les **performances économiques** relevant de l'amélioration des activités déployées par les résidents et les **performances dites naturelles**, relevant de la recherche du bien-être au sein des espaces naturels, on obtient l'identification de l'intérêt que représente une infrastructure nouvelle dans l'activité, et plus généralement dans la vie de l'ensemble des résidents desservis par cette infrastructure.

Ces résultats peuvent être **cartographiés**. On peut par exemple montrer les performances économiques atteintes dans chaque commune du territoire desservi, par actif ou, ce qui est presque équivalent, par ménage ou pour l'ensemble des actifs d'une commune. On peut dans les mêmes conditions cartographier les performances naturelles observées. Ces illustrations ont **un grand pouvoir d'évocation** et évitent de résumer en un seul chiffre des phénomènes dont les effets sont différents d'un territoire à l'autre.

C'est ainsi que cette méthode a déjà donné lieu à de premières applications notamment dans le cadre de projets routiers (A65, prolongement de l'A12...). Pour le ferroviaire, la méthode telle que définie dans l'annexe II a été utilisée sur les 80 projets ferroviaires dans l'étude préparatoire de la contribution de RFF au SNIT. Cette première application a montré les limites de l'approche par rapport aux applications sur les projets de grande vitesse ferroviaire. Et ce pour deux raisons principales :

- L'isochrone du 90<sup>ème</sup> percentile oublie les déplacements à longue distance ;
- L'aspect coût et tarification n'est pas du tout pris en compte de manière adaptée.

Une première série d'adaptations de la méthodologie a été mise en œuvre dans le cadre de cette étude pour dépasser ces limites. D'autres adaptations méthodologiques se sont ensuite révélées nécessaires.

#### 1.4. OBJECTIFS DE L'ETUDE

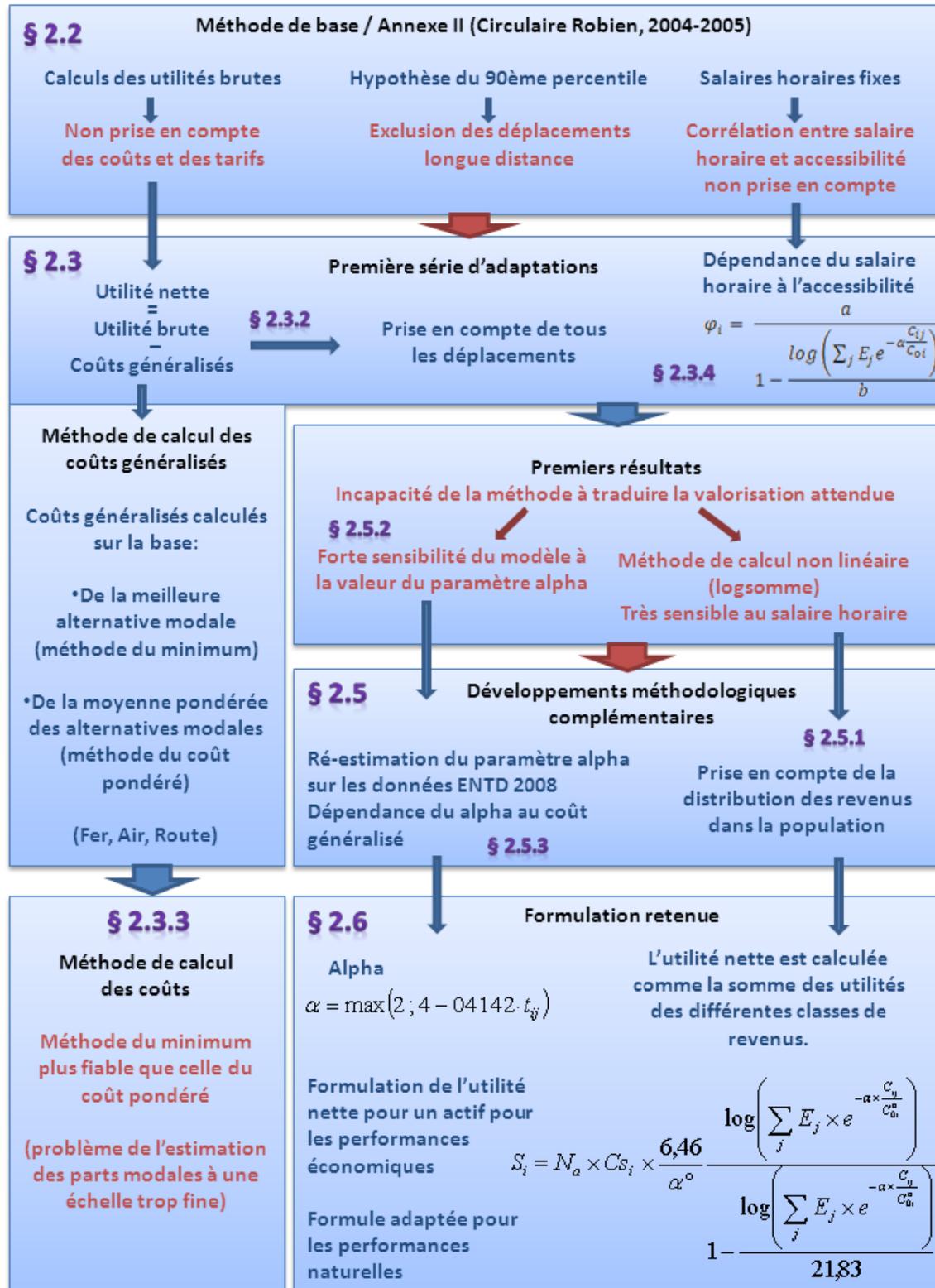
La présente étude sur « l'évaluation des performances économiques et naturelles liées à l'accessibilité » du projet POCL a permis d'atteindre les objectifs suivants :

- Appliquer la méthode « Poulit » à l'évaluation des performances économiques et naturelles d'un projet de LGV ;
- Adapter et améliorer la méthode de manière à mieux prendre en compte les spécificités d'un projet LGV ;
- Apprécier les impacts territoriaux et sociaux d'un projet LGV ;
- Comparer les effets de différents scénarios du projet POCL.

Nous présentons dans ce rapport (1) la méthodologie et les adaptations méthodologiques apportées, (2) les résultats obtenus dans le cadre du projet POCL et (3) les principales conclusions que nous tirons de ce travail.

## 2. METHODOLOGIE

### 2.1. SYNOPTIQUE DES ADAPTATIONS METHODOLOGIQUES



## 2.2. METHODE D'EVALUATION DES PERFORMANCES ECONOMIQUES ET NATURELLES (INSTRUCTION DU 25 MARS 2004 / ANNEXE 2)

### 2.2.1. Principes exposés dans l'instruction cadre du 25 mars 2004

L'instruction cadre du 25 mars 2004 comporte des directives méthodologiques et des résultats d'enquêtes qui sont résumées ci après :

#### *Résultats des enquêtes de transport*

Les enquêtes de transport effectuées au sein des territoires à dominante urbaine font apparaître, depuis vingt cinq ans, une stabilité remarquable du nombre de déplacements par personne effectués quotidiennement et une stabilité tout aussi remarquable du temps consacré quotidiennement aux déplacements.

Les enquêtes font également apparaître depuis vingt cinq ans une amélioration des vitesses moyennes de déplacement au fur et à mesure de la mise en service de nouvelles infrastructures de transport.

Les portées de déplacement progressent au rythme de l'amélioration des vitesses de déplacement.

Le nombre de destinations accessibles dans un temps de transport stable progresse depuis vingt cinq ans au rythme de l'épanouissement des territoires commodément accessibles et de la variation de la densité d'occupation de ces territoires en destinations convoitées.

#### *Modélisation des déplacements en conformité avec les résultats des enquêtes*

La génération des déplacements associés aux résidents d'un territoire est proportionnelle au nombre d'habitants (ou d'actifs). Chaque motif de déplacement (domicile travail, travail domicile, domicile enseignement, enseignement domicile, domicile achats, achats domicile, affaires professionnelles, déplacements pour loisirs verts...), comporte son propre coefficient de génération.

Les déplacements  $N_i$  engendrés par la zone  $i$  pour un motif de déplacement donné se distribuent spatialement selon deux facteurs :

- un facteur qui traduit l'abondance des biens convoités  $Q_j$  dans chaque zone d'attraction  $j$  pour le motif considéré,
- un facteur qui traduit la difficulté d'accéder depuis  $i$  à la zone  $j$  où se trouvent localisés les biens convoités

Le nombre de déplacements issus de  $i$  qui se dirigent vers  $j$  pour un motif de déplacement donné, ou encore la probabilité d'un déplacement issu de  $i$  à destination de  $j$  pour ce motif, est ainsi de la forme :

$$p_{ij} = k Q_j \cdot e^{-\alpha \cdot (C_{ij}/C_{i0})}$$

- avec  $Q_j$ , quantité de biens convoités en  $j$  pour le motif étudié.

Par exemple, pour le motif domicile travail, la quantité  $Q_j$  est celle des emplois totaux disponibles en  $j$ . Pour le motif domicile affaires, la quantité à prendre en considération est celle des emplois tertiaires disponibles en  $j$ , pour le motif domicile achats, celle des emplois de vendeurs, pour le motif domicile enseignement, celle des enseignants. Si on désire, dans une première approche, prendre en considération l'ensemble des motifs à vocation économique regroupant domicile affaires, domicile achats, domicile enseignement, on peut adopter le nombre d'emplois tertiaires disponibles en  $j$ . Pour le motif domicile loisirs verts, c'est le nombre d'hectares (ou d'ares) d'espaces naturels qu'il convient de considérer. Les déplacements qui n'ont

aucune origine au domicile (baptisés traditionnellement ricochets) sont en règle générale reliés, aussi bien en origine qu'en destination, au nombre d'emplois tertiaires. Le facteur d'abondance des biens convoités en j pour un motif donné est en définitive caractérisé par la nature et la quantité des biens qui ont pour effet de reproduire, avec le plus de fidélité possible, les résultats des enquêtes de déplacement.

- et avec  $C_{ij}$ , coût généralisé de transport entre i et j, c'est-à-dire le coût intégrant la valorisation du temps de transport et la prise en compte des dépenses monétaires effectives.  $C_0^\circ$  est égal au coût généralisé d'une heure de transport qui a comme propriété d'être égal au coût d'une heure travaillée.  $\alpha^\circ$  traduit la rapidité de décroissance de l'intérêt porté au bien convoité en fonction de son éloignement de la zone i. Pour le motif de déplacement domicile travail,  $\alpha^\circ$  est égal à 6.

L'expression peut également s'écrire :

$$p_{ij} = k Q_j \cdot e^{-\alpha (C_{ij}/C_0)}$$

- avec  $C_0$  représentant la valorisation du seul temps d'une heure de transport, soit environ les 2/3 d'une heure travaillée, le complément, 1/3, étant constitué par les dépenses monétaires associées à cette heure de déplacement. Dans ce cas  $\alpha$  est égal à 2/3 de  $\alpha^\circ$ . Toutefois, la première expression est plus simple et plus facile à mémoriser, tout en étant équivalente.

$e^{-\alpha (C_{ij}/C_0)}$  peut enfin s'écrire :  $e^{-\alpha^\circ \cdot t_{ij}}$ , avec  $t_{ij}$  égal au temps de déplacement entre i et j.

La loi de distribution des déplacements a une propriété mathématique remarquable. Lorsque l'occupation du territoire est homogène et indéfinie, le temps moyen des déplacements issus de i, hors trajets terminaux  $t_i^2$ , c'est-à-dire le temps utile,  $t_i^1 = C_i^1/C_0^\circ$ , est invariant et égal à  $2/\alpha^\circ$ . Pour les déplacements domicile travail et travail domicile, dont le coefficient  $\alpha^\circ$  est égal à 6, cela conduit à un temps  $t_i^1$  de 1/3 d'heure, soit 20 minutes, hors trajets terminaux à pied, et 36 minutes avec les trajets terminaux, résultat que les enquêtes observent effectivement. Pour les déplacements à vocation économique autres que les déplacements domicile travail ou travail domicile tels qu'affaires professionnelles, enseignement, achats, services, dont le coefficient moyen harmonique  $\alpha^\circ_{\text{harm}}$  est égal à 9,54, cela conduit à un temps utile  $t_i^1$  de 12,6 minutes et à un temps total de 20,8 minutes avec les trajets terminaux. Pour tous les déplacements à vocation économique (domicile travail et autres motifs économiques), dont le coefficient moyen pondéré harmonique  $\alpha^\circ_{\text{moy harm}}$  est égal à 8,206, cela conduit à un temps moyen utile  $t_i^1$  de 14,6 minutes et à un temps total moyen de 24 minutes avec les trajets terminaux.

Si on pose  $\lambda = C_0/\alpha = C_0^\circ/\alpha^\circ$ , on peut, en dernier ressort, écrire de façon simplifiée la probabilité d'un déplacement issu de i à destination de j, pour un motif donné, sous la forme :

$$p_{ij} = k Q_j \cdot e^{-C_{ij}/\lambda}$$

#### *Interprétation économique du comportement des résidents sur une liaison ij*

Sur une liaison ij, par rapport à une situation d'absence de choix (bien unique), il résulte de la loi de probabilité précédente que l'utilité brute supplémentaire (ou création de valeur brute) associée à la possibilité de choisir en j un bien pertinent parmi un ensemble de biens  $Q_j$  est égale à :

$$U_j = \lambda \cdot \text{Log } Q_j$$

Sur cette liaison ij, par rapport à une situation de non choix (bien unique), l'utilité *nette* supplémentaire (ou création de valeur *nette*) associée à la possibilité de choisir en j un bien pertinent parmi un ensemble de biens  $Q_j$  est égale à :

$$S_{ij} = U_j - C_{ij} = \lambda \cdot \text{Log } Q_j - C_{ij}$$

L'utilité *nette* supplémentaire mobilisée (création de valeur *nette*) à l'occasion d'un déplacement entre i et j, pour un motif donné, est ainsi égale à l'utilité brute supplémentaire mobilisée en j pour ce motif (création de valeur brute) défalquée du coût généralisé de transport entre i et j,  $C_{ij}$ . Il n'y a déplacement que lorsque l'utilité *nette* supplémentaire (création de valeur *nette*) est positive.

Sur une liaison ij, par rapport à une situation d'absence de choix (bien unique), l'utilité *nette* supplémentaire (création de valeur *nette*) associée à un déplacement peut être libellée, de façon condensée, sous la forme suivante :

$$S_{ij} = \lambda \cdot \text{Log } Q_j^*,$$

- avec  $Q_j^* = Q_j \cdot e^{-C_{ij}/\lambda}$ .

*Interprétation du comportement économique des résidents à l'égard de toutes les destinations entourant la zone i*

Etendue à toutes les destinations qui entourent la zone émettrice i, l'utilité *nette* supplémentaire (création de valeur *nette*) d'un déplacement moyen issu de i est égale à :

$$S_i = \lambda \cdot \text{Log} (\text{Somme des } Q_j^*).$$

L'utilisateur prend en considération l'ensemble des biens convoités qui l'entourent auxquels il peut accéder, les pondère par l'effet atténuateur du temps de déplacement et en fait la somme. La valeur logarithmique de cette somme est l'indicateur de satisfaction auquel il est sensible. Cet indicateur caractérise le supplément d'utilité *nette* moyenne (ou la création de valeur *nette* moyenne) que le résident de la zone i engendre lorsqu'il effectue un déplacement.

L'utilité *nette* supplémentaire associée à un déplacement moyen issu de i (la création de valeur *nette*)  $S_i$  peut être elle-même décomposée en une utilité brute supplémentaire moyenne (création de valeur brute)  $U_i$  et un coût généralisé moyen de déplacement  $C_i$ .

$$S_i = U_i - C_i$$

$U_i$  est égal à :  $\lambda \cdot \text{Log } Q_i^{90} = (C_0^\circ/\alpha^\circ) \cdot \text{Log } Q_i^{90}$ , expression dans laquelle  $Q_i^{90}$  représente le nombre de biens décomptés à l'intérieur de l'isochrone 90 (c'est-à-dire l'isochrone qui n'est dépassée que par 10% des usagers issus de i).

Cette expression, pertinente lorsque l'urbanisation est homogène indéfinie, constitue une très bonne approximation lorsque l'urbanisation est hétérogène. Les isochrones pertinentes varient en effet entre la valeur 88 dans le cas d'urbanisations très rapidement croissantes et la valeur 94 dans le cas d'urbanisations très rapidement décroissantes.

$C_i$  de son côté est égal à  $(C_0^\circ) \cdot (2/\alpha^\circ + t_0)$ ,  $t_0$  représentant la durée des trajets terminaux.

$U_i$  représente la valeur que l'on peut attribuer à la notion d'accessibilité au territoire commodément accessible à partir de i. Il s'agit là du caractère positif du déplacement, le coût du déplacement lui-même étant caractérisé par le coût généralisé de transport  $C_i$  incluant la valorisation du temps de déplacement et les dépenses monétaires effectuées.

Les suppléments d'utilité brute ou *nette* enregistrés (les créations de valeur brutes ou nettes) au cours de plusieurs déplacements sont additifs au même titre que le sont les coûts généralisés de déplacement.

On peut évaluer les suppléments d'utilité brute ou nette annuels enregistrés par un résident pour un motif donné en multipliant le supplément d'utilité d'un déplacement moyen par le nombre de déplacements annuels effectués pour ce motif.

On a ainsi  $\underline{S}_i = N_i \cdot S_i$ ,  $\underline{U}_i = N_i \cdot U_i$ ,  $\underline{C}_i = N_i \cdot C_i$

## 2.2.2. Calcul des performances économiques

*Cas des déplacements domicile travail :*

L'utilité économique annuelle liée à la possibilité d'effectuer un choix pertinent entre les différents emplois commodément accessibles à partir de la zone de résidence  $i$ , c'est-à-dire la performance économique annuelle liée aux déplacements domicile travail et travail domicile d'un actif de la zone  $i$ , s'exprime sous la forme :

$$U_i^t = N_i^t \cdot (C_0^\circ / \alpha^\circ) \cdot \text{Log } E_i^{90}$$

avec  $N_i^t$  nombre de déplacements domicile travail et travail domicile totaux annuels d'un actif de la zone  $i$ ,  $C_0^\circ$  coût de l'heure travaillée de l'actif résidant en  $i$ ,  $\alpha^\circ$  coefficient fixant le rythme de décroissance de l'exponentielle décroissante du temps de transport pour le motif domicile travail et travail domicile et  $E_i^{90}$  nombre d'emplois décomptés à l'intérieur de l'isochrone 90 (c'est-à-dire l'isochrone qui n'est dépassée que par 10% des actifs issus de  $i$ ).

Le nombre  $N_i^t$  de déplacements annuels pour le motif domicile travail et travail domicile est égal à 396.

Le coefficient  $\alpha^\circ$  pour les déplacements domicile travail et travail domicile est égal à 6.

On obtient donc :

$$U_i^t = N_i^t \cdot (C_0^\circ / \alpha^\circ) \cdot \text{Log } E_i^{90} = 66 \cdot C_0^\circ \cdot \text{Log } E_i^{90}$$

Lorsqu'une infrastructure nouvelle est mise en service, l'augmentation de l'utilité économique annuelle associée aux déplacements domicile travail de l'actif résidant dans la zone  $i$  est égale à :

$$U_i^{t-2} - U_i^{t-1} = 66 \cdot [C_0^{\circ 1} \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (C_0^{\circ 2} - C_0^{\circ 1})]$$

La valeur de l'heure travaillée  $C_0^\circ$  est celle de l'actif résidant dans la zone  $i$ . Lorsque l'infrastructure testée est implantée dans un espace homogène au plan de la densité de la population, de celle de l'emploi et des conditions de desserte, la valeur de l'heure travaillée est elle-même homogène. On adopte donc dans ce cas pour effectuer l'étude d'évaluation en situation de référence avant réalisation de l'infrastructure projetée, la valeur moyenne  $C_0^{\circ-1}$  de l'heure travaillée au sein de l'espace servant de support à l'étude. Toutefois, la valeur de l'heure travaillée évolue elle-même avec la mise en place de la nouvelle infrastructure. On ne peut donc, sauf à ignorer le deuxième terme de la formule de création de valeur, considérer que la valeur horaire  $C_0^\circ$  ne varie pas au moment de l'ouverture de la nouvelle voie.

De plus, si le territoire est fortement hétérogène, et encore plus si on procède à des évaluations portant sur l'ensemble du territoire français ou européen, on ne peut pas considérer que la valeur de l'heure travaillée avant réalisation de l'infrastructure,  $C_0^{\circ-1}$ , est constante. Elle est elle-même fonction du nombre d'emplois auquel un résident peut commodément accéder.

En fait, on peut, en appliquant la formule de l'utilité économique associée aux déplacements domicile travail et travail domicile, calculer la valeur horaire du travail en tout point du territoire national ou européen et de ce fait permettre un calcul de l'augmentation de l'utilité économique d'une infrastructure desservant des territoires très différenciés (de la zone rurale isolée à la zone urbaine dense).

Il suffit pour parvenir à ce résultat de considérer que l'utilité liée aux déplacements domicile travail et travail domicile annuels d'un actif résidant dans la zone  $i$  est égale au *supplément*

de salaire entre une zone rurale isolée où le choix d'emplois est extrêmement réduit et la zone i où vit le résident. Cette seule hypothèse conduit à une formulation du salaire annuel net délivré à l'actif résidant en i dont la traduction numérique est strictement conforme aux statistiques publiées par l'INSEE, ce qui valide totalement l'hypothèse faite.

On trouve le résultat suivant:

$$R_i^t = R_r^t \cdot 1/(1 - \text{Log } E_i^{90}/25)^2$$

avec  $R_i^t$  salaire annuel net d'un actif de la zone i et  $R_r^t$  salaire annuel net d'un actif dans une zone rurale isolée.

Cette formule s'écrit également :

$$R_i^t = R_r^t \cdot [1 + (1/25) \cdot \text{Log } E_i^{90} + ((1/25) \cdot \text{Log } E_i^{90})^2 + ((1/25) \cdot \text{Log } E_i^{90})^3 + \dots]$$

Le supplément de salaire par rapport aux zones rurales isolées est en fait le résultat d'un phénomène cumulatif d'accessibilité à des zones d'emplois.

Le salaire horaire net s'obtient en divisant par 1650 le salaire annuel net.

On obtient ainsi:

$$C_0^\circ_i = C_0^\circ_r \cdot 1/(1 - \text{Log } E_i^{90}/25)$$

$$C_0^\circ_i = C_0^\circ_r \cdot [1 + (1/25) \cdot \text{Log } E_i^{90} + ((1/25) \cdot \text{Log } E_i^{90})^2 + ((1/25) \cdot \text{Log } E_i^{90})^3 + \dots]$$

On peut de la sorte reconstituer le salaire horaire net d'un actif en tout point du territoire.

La formulation du salaire annuel net permet d'ailleurs de calculer directement la variation d'utilité liée aux déplacements domicile travail et travail domicile au moment de la mise en service d'une infrastructure nouvelle.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Ce résultat s'obtient de la façon suivante : Le nombre d'heures travaillées étant en moyenne de 1650 par an, le salaire annuel net d'un actif de la zone i,  $R_i^t$ , est égal à  $1650 C_0^\circ_i$ .

L'utilité économique annuelle  $U_i^t$ , liée aux déplacements domicile travail et travail domicile, est, d'après l'hypothèse faite, égale à  $R_i^t - R_r^t$ ,

$R_r^t$  étant le salaire annuel net d'un actif dans une zone rurale isolée.

On obtient donc :  $U_i^t = R_i^t - R_r^t = 66 (R_i^t/1650) \cdot \text{Log } E_i^{90} = (R_i^t/25) \cdot \text{Log } E_i^{90}$

$R_i^t - R_r^t = (R_i^t/25) \cdot \text{Log } E_i^{90}$

$R_i^t - (R_i^t/25) \cdot \text{Log } E_i^{90} = R_r^t$

$R_i^t (1 - \text{Log } E_i^{90}/25) = R_r^t$

$R_i^t = R_r^t \cdot 1/(1 - \text{Log } E_i^{90}/25)$

<sup>3</sup> Il suffit d'écrire que :  $U_i^{t-2} - U_i^{t-1} = R_i^{t-2} - R_i^{t-1}$

$= R_r^t \cdot 1/(1 - \text{Log } E_i^{90-2}/25) - R_r^t \cdot 1/(1 - \text{Log } E_i^{90-1}/25)$

$= R_r^t \cdot (1/(1 - \text{Log } E_i^{90-2}/25) - 1/(1 - \text{Log } E_i^{90-1}/25))$

$= R_r^t \cdot (25/(25 - \text{Log } E_i^{90-2}) - 25/(25 - \text{Log } E_i^{90-1}))$

$= R_r^t \cdot ((25 - \text{Log } E_i^{90-1} + \text{Log } E_i^{90-1})/(25 - \text{Log } E_i^{90-2}) - (25 - \text{Log } E_i^{90-1} + \text{Log } E_i^{90-1})/(25 - \text{Log } E_i^{90-1}))$

$= R_r^t \cdot ((1 + \text{Log } E_i^{90-2}/(25 - \text{Log } E_i^{90-2})) - (1 + \text{Log } E_i^{90-1}/(25 - \text{Log } E_i^{90-1})))$

$= R_r^t \cdot (\text{Log } E_i^{90-2}/(25 - \text{Log } E_i^{90-2}) - \text{Log } E_i^{90-1}/(25 - \text{Log } E_i^{90-1}))$

très voisin de :  $R_r^t \cdot [(1/(25 - \text{Log } E_i^{90-1})) \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (1/(25 - \text{Log } E_i^{90-2}) - 1/(25 - \text{Log } E_i^{90-1}))]$

$= (R_r^t/25) \cdot [(25/(25 - \text{Log } E_i^{90-1})) \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (25/(25 - \text{Log } E_i^{90-2}) - 25/(25 - \text{Log } E_i^{90-1}))]$

$= (R_r^t/25) \cdot [(1/(1 - \text{Log } E_i^{90-1}/25)) \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (1/(1 - \text{Log } E_i^{90-2}/25) - 1/(1 - \text{Log } E_i^{90-1}/25))]$

$= (R_r^t/25) \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (R_i^{t-2}/25 - R_i^{t-1}/25)$

$= (1650 \cdot C_0^\circ_i/25) \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (1650 \cdot C_0^\circ_i/25 - 1650 \cdot C_0^\circ_i/25)$

$= 66 [C_0^\circ_i \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (C_0^\circ_i - C_0^\circ_i)]$

On retrouve bien l'expression :  $U_i^{t-2} - U_i^{t-1} = 66 \cdot [C_0^\circ_i \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (C_0^\circ_i - C_0^\circ_i)]$ , dans laquelle le coût de l'heure travaillée est celle,  $C_0^\circ_i$ , de l'actif avant réalisation de l'infrastructure nouvelle et celle,  $C_0^\circ_i$ , de l'actif après réalisation de l'infrastructure. Les deux approches sont parfaitement concordantes. On pourra donc les utiliser indifféremment.

Pour déterminer la progression de l'utilité économique annuelle associée aux déplacements domicile travail de l'actif résidant dans la zone  $i$ ,  $U_i^{t-2} - U_i^{t-1}$ , au moment de la mise en service d'une infrastructure nouvelle, il est recommandé d'adopter la formule générale et d'écrire :

$$R_i^{t-2} - R_i^{t-1} = R_r^t \cdot [1/(1 - \text{Log } E_i^{90-2}/25) - 1/(1 - \text{Log } E_i^{90-1}/25)]$$

ou encore:

$$U_i^{t-2} - U_i^{t-1} = R_r^t \cdot [\text{Log } E_i^{90-2}/(25 - \text{Log } E_i^{90-2}) - \text{Log } E_i^{90-1}/(25 - \text{Log } E_i^{90-1})]$$

Mais on peut également, ne serait-ce que pour contrôler que le résultat obtenu est bien le même, calculer le salaire horaire de référence en toute zone  $i$  avant réalisation de l'infrastructure nouvelle,  $C_0^{\circ 1}$ , et après réalisation de l'infrastructure,  $C_0^{\circ 2}$ , en adoptant la formule générale :

$$C_0^{\circ 1} = C_0^{\circ r} \cdot 1/(1 - \text{Log } E_i^{90-1}/25)$$

$$C_0^{\circ 2} = C_0^{\circ r} \cdot 1/(1 - \text{Log } E_i^{90-2}/25)$$

et appliquer ensuite ces valeurs à la formule de base issue de l'instruction cadre du 25 mars 2004 :

$$U_i^{t-2} - U_i^{t-1} = 66 \cdot [C_0^{\circ 1} \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (C_0^{\circ 2} - C_0^{\circ 1})]$$

En 1990, le salaire annuel net dans les zones rurales isolées  $R_r^t$  était de 58 000 F. En 2000, il est de 58 000.1, 34 = 77 720 F, soit en euros 11 847,5 €. En 2000, la formulation permettant de calculer le salaire annuel net en tout point  $i$  du territoire s'exprime de ce fait ainsi :

$$R_i^t = 11 847,5 \text{ €} \cdot 1/(1 - \text{Log } E_i^{90}/25)$$

En 1990, le salaire horaire net dans les zones rurales isolées  $C_0^{\circ r}$  était de 58 000 F/1650 = 35,1515 F. En 2000, il est de 35,1515.1, 34 = 47,1030 F, soit en euros 7,1803 €. En 2000, la formulation permettant de calculer le salaire annuel net en tout point  $i$  du territoire s'exprime de ce fait ainsi :

$$C_0^{\circ 1} = 7,1803 \text{ €} \cdot 1/(1 - \text{Log } E_i^{90-1}/25)$$

Si on cherche à déterminer le salaire horaire *moyen* d'un actif résidant dans une agglomération, il suffit d'appliquer la formule :

$$C_0^{\circ 1} = 7,1803 \text{ €} \cdot 1/(1 - \text{Log } E_i^{90-1}/25)$$

dans laquelle  $E_i^{90-1}$  est égal à (800 000 : hypothèse à adapter en fonction de la taille des principales agglomérations desservies par la ligne nouvelle) x 0,450 x 0,670 = 241 200 emplois (800 000 étant la population de l'agglomération, 0,450 le taux d'activité moyen et 0,670 le rapport entre  $E^{90}$  et  $E$ ) [toutes hypothèses à adapter en fonction des agglomérations desservies].

On trouve :  $C_0^{\circ bx 1} = 7,1803 \text{ €} \times 1/(1 - 12,393381/25) = 7,1803 \text{ €} \times 1/(1 - 0,495735) = 7,1803 \text{ €} \times 1/0,504265 = 7,1803 \text{ €} \times 1,9831 = 14,2393 \text{ €}$  [hypothèse à adapter en fonction de l'agglomération étudiée].

La valorisation du temps consacré à une heure de transport est égale au 2/3 de l'heure travaillée. On obtient ainsi pour cette valorisation : 9,4928 €. L'instruction cadre du ministre de l'Équipement et des Transports donne pour les déplacements domicile travail, hors Ile de France, à l'horizon 2000, la valeur de 10,0 € qui est très peu différente. Il y a donc là aussi parfaite concordance.

Si on adopte, pour le coût de l'heure travaillée, le coût horaire moyen d'un actif, soit 14,2393 €, et, pour le logarithme du nombre moyen des emplois accessibles dans le 90 ème percentile, la valeur de 12,3934, l'utilité annuelle de l'infrastructure pour cet actif moyen au titre des déplacements domicile travail et travail domicile est égal à :

$$U_i^{t-2} - U_i^{t-1} = 939,79 \text{ €} \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - 12,3934) + 817,96 \cdot (C_0^{\circ-2} \text{ €} - 14,2393 \text{ €})$$

Des évaluations du même type peuvent être effectuées pour les actifs des agglomérations avec des valeurs de  $E_i^{90-1}$  adaptées.

Dans les formules qui précèdent, le nombre d'emplois  $E_i^{90}$  correspond aux emplois dénombrables à l'intérieur du territoire qui est délimité par l'isochrone 90<sup>ème</sup> percentile, c'est-à-dire l'isochrone qui n'est dépassé que par 10% des actifs de la zone i. Les percentiles s'appliquent aux temps utiles  $t_i^1$ , c'est-à-dire exclusion faite des trajets terminaux qui n'ont pas d'effet sur les univers de choix des destinations commodément accessibles. Le temps correspondant au 90<sup>ème</sup> percentile est très proche du double du temps moyen. Le temps moyen utile étant égal à  $2/\alpha^\circ = 2/6 = 1/3$  d'heure = 20 min, on adoptera donc comme temps de référence pour la détermination de l'isochrone 90<sup>ème</sup> percentile, la valeur de 40 minutes utiles.

Notons que le temps moyen d'un déplacement domicile travail avec les trajets terminaux à pied (16 minutes cumulés à l'origine et à la destination) est de 36 minutes (20 + 16), résultat conforme aux observations. Le temps correspondant au 90<sup>ème</sup> percentile avec les trajets terminaux à pied est, de son côté, de 56 minutes (40 + 16), valeur très voisine d'une heure.

Enfin pour calculer l'utilité des destinations commodément accessibles par commune, il conviendra de multiplier les résultats obtenus par actif par le nombre d'actifs résidant dans la commune.

#### *Cas des déplacements pour tous motifs économiques :*

La performance économique liée à tous les déplacements à vocation économique s'exprime sous la forme :

$$U_i^{te} = N_i^t \cdot (C^\circ/\alpha^\circ) \cdot \text{Log } E_i^{90} + N_i^m \cdot (C^\circ/\alpha^\circ_m) \cdot \text{Log } E_i^{90}_m + N_i^n \cdot (C^\circ/\alpha^\circ_n) \cdot \text{Log } E_i^{90}_n + \dots$$

Pour chaque motif de déplacement, il existe un nombre de déplacements annuels, un coefficient  $\alpha$  spécifique et un nombre d'emplois adapté à l'intérieur de l'isochrone 90 (emplois tertiaires pour le motif affaires, emplois d'enseignants pour le motif instruction, emplois de vendeurs pour le motif achat, ...). On peut toutefois simplifier fortement les calculs en déterminant un nombre moyen annuel de déplacements équivalents  $N_i^{te}$  qui, appliqué à  $(C^\circ/\alpha^\circ) \cdot \text{Log } E_i^{90}$ , permet de retrouver une valeur très proche du résultat obtenu par addition des utilités de chacun des motifs de déplacement à vocation économique. Ce nombre de déplacements annuels équivalents est égal à 964.

A titre de comparaison, le nombre de déplacements totaux annuels à vocation économique est de 1432. Il est composé de 396 déplacements domicile travail et travail domicile et de 1036 déplacements à vocation économique de type affaires, enseignement, achats, services. Les 1036 déplacements à vocation économique autres que domicile travail donnent naissance à 651 déplacements équivalents, en maintenant les attracteurs originaux  $E_i^{90}_m$ ,  $E_i^{90}_n$  ..., et en adoptant  $\alpha^\circ = 6$ , et à 568 déplacements équivalents, en adoptant, de plus, comme attracteur de référence, le nombre d'emplois totaux  $E_i^{90}$ .

Le nombre de déplacements annuels équivalents, en maintenant les attracteurs originaux  $E_i^{90}_m$ ,  $E_i^{90}_n$  ..., et en adoptant  $\alpha^\circ = 6$ , est ainsi de  $396 + 651 = 1047$ . En se référant à l'attracteur  $E_i^{90}$  et en adoptant  $\alpha^\circ = 6$ , il est de  $396 + 568 = 964$ .

Le rapport entre ce dernier nombre et celui des déplacements pour le motif domicile travail et travail domicile est égal à 2,4343, soit exactement le rapport moyen entre le supplément de salaire annuel net et le supplément de PIB par actif par rapport aux zones rurales isolées effectivement observé (2,4310 : la différence est de 1,25 pour mille).

On obtient ainsi pour l'ensemble des déplacements à vocation économique (domicile travail et autres déplacements à vocation économique) :

$$U_i^{te} = N_i^{te} \cdot (C_0^\circ / \alpha^\circ) \cdot \text{Log } E_i^{90} = 964(C_0^\circ / 6) \cdot \text{Log } E_i^{90} = 160,66 \cdot C_0^\circ \cdot \text{Log } E_i^{90}$$

Lorsqu'une infrastructure nouvelle est mise en service, l'augmentation de l'utilité économique associée à tous les déplacements à vocation économique rattachés à un actif résidant dans la zone i, soit en pratique à un ménage (le rapport entre le nombre d'actifs et le nombre de ménages étant voisin de 1), est égale à :

$$U_i^{te-2} - U_i^{te-1} = 160,66 \cdot [C_0^{\circ 1} \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (C_0^{\circ 2} - C_0^{\circ 1})]$$

La valeur de l'heure travaillée  $C_0^\circ$  est celle de l'actif résidant dans la zone i. Lorsque l'infrastructure testée est implantée dans un espace homogène au plan de la densité de la population, de celle de l'emploi et des conditions de desserte, la valeur de l'heure travaillée est elle-même homogène. On adopte donc dans ce cas pour effectuer l'étude d'évaluation en situation de référence avant réalisation de l'infrastructure projetée, la valeur moyenne  $C_0^{\circ-1}$  de l'heure travaillée au sein de l'espace servant de support à l'étude. Toutefois, la valeur de l'heure travaillée évolue elle-même avec la mise en place de la nouvelle infrastructure. On ne peut donc, sauf à ignorer le deuxième terme de la formule de création de valeur, considérer que la valeur horaire  $C_0^\circ$  ne varie pas au moment de l'ouverture de la nouvelle voie.

De plus, si le territoire est fortement hétérogène, et encore plus si on procède à des évaluations portant sur l'ensemble du territoire français ou européen, on ne peut pas considérer que la valeur de l'heure travaillée avant réalisation de l'infrastructure,  $C_0^{\circ-1}$ , est constante. Elle est elle-même fonction du nombre d'emplois auquel un résident peut commodément accéder.

En procédant comme pour les déplacements domicile travail, on trouve le résultat suivant :

$$R_i^{te} = R_r^{te} \cdot 1 / (1 - \text{Log } E_i^{90} / 25)^4$$

avec  $R_i^{te}$  égal au PIB de la zone étudiée i et  $R_r^{te}$  égal au PIB des zones rurales isolées.

Cette formule s'écrit également :

$$R_i^{te} = R_r^{te} \cdot [1 + (1/25) \cdot \text{Log } E_i^{90} + ((1/25) \cdot \text{Log } E_i^{90})^2 + ((1/25) \cdot \text{Log } E_i^{90})^3 + \dots]$$

Le supplément de PIB par rapport aux zones rurales isolées est en fait le résultat d'un phénomène cumulatif d'accessibilité à des zones d'emplois.

La formulation du PIB annuel permet d'ailleurs de calculer directement la variation d'utilité liée à tous les déplacements à vocation économique au moment de la mise en service d'une infrastructure nouvelle<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> En suivant le même raisonnement que pour les déplacements domicile travail, c'est-à-dire en faisant l'hypothèse, vérifiée par les enquêtes, que l'utilité de tous les déplacements à vocation économique est égale à la différence entre le PIB de la zone étudiée,  $R_i^{te}$ , et le PIB des zones rurales isolées,  $R_r^{te}$ , on obtient pour l'utilité de la totalité des déplacements à vocation économique :

$$\begin{aligned} U_i^{te} &= R_i^{te} - R_r^{te} = 160,66 \cdot (R_i^t / 1650) \cdot \text{Log } E_i^{90} = 66,2,4343 \cdot (R_i^t / 1650) \cdot \text{Log } E_i^{90} = \\ &= 66 \cdot (2,4343 \cdot R_i^t / 1650) \cdot \text{Log } E_i^{90} = (R_i^{te} / 25) \cdot \text{Log } E_i^{90} \\ R_i^{te} - R_r^{te} &= (R_i^{te} / 25) \cdot \text{Log } E_i^{90} \\ R_i^{te} - (R_i^{te} / 25) \cdot \text{Log } E_i^{90} &= R_r^{te} \\ R_i^{te} (1 - \text{Log } E_i^{90} / 25) &= R_r^{te} \\ R_i^{te} &= R_r^{te} \cdot 1 / (1 - \text{Log } E_i^{90} / 25) \end{aligned}$$

<sup>5</sup> Il suffit d'écrire que :

$$\begin{aligned} U_i^{te-2} - U_i^{te-1} &= R_i^{te-2} - R_i^{te-1} \\ &= R_r^{te} \cdot 1 / (1 - \text{Log } E_i^{90-2} / 25) - R_r^{te} \cdot 1 / (1 - \text{Log } E_i^{90-1} / 25) \\ &= R_r^{te} \cdot (1 / (1 - \text{Log } E_i^{90-2} / 25) - 1 / (1 - \text{Log } E_i^{90-1} / 25)) \end{aligned}$$

Pour déterminer la progression de l'utilité économique annuelle associée à tous les déplacements à vocation économique de l'actif résidant dans la zone  $i$ ,  $U_i^{te-2} - U_i^{te-1}$ , il est en fait recommandé d'adopter la formule générale et d'écrire :

$$R_i^{te-2} - R_i^{te-1} = R_r^{te} \cdot (1/(1 - \text{Log } E_i^{90-2}/25) - 1/(1 - \text{Log } E_i^{90-1}/25))$$

ou encore :

$$U_i^{te-2} - U_i^{te-1} = R_r^{te} \cdot (\text{Log } E_i^{90-2}/(25 - \text{Log } E_i^{90-2}) - \text{Log } E_i^{90-1}/(25 - \text{Log } E_i^{90-1}))$$

Mais on peut également, ne serait-ce que pour contrôler que le résultat obtenu est bien le même, calculer le salaire horaire de référence en toute zone  $i$  avant réalisation de l'infrastructure nouvelle,  $C_0^{\circ 1}$ , et après réalisation de l'infrastructure,  $C_0^{\circ 2}$ , en adoptant la formule générale :

$$C_0^{\circ 1} = C_0^{\circ r} \cdot 1/(1 - \text{Log } E_i^{90-1}/25)$$

$$C_0^{\circ 2} = C_0^{\circ r} \cdot 1/(1 - \text{Log } E_i^{90-2}/25)$$

et appliquer ensuite ces valeurs à la formule de base issue de l'instruction cadre du 25 mars 2004 :

$$U_i^{te-2} - U_i^{te-1} = 160,66 \cdot [C_0^{\circ 1} \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (C_0^{\circ 2} - C_0^{\circ 1})]$$

En 1990, le PIB dans les zones rurales isolées était de 141 000 F. En 2000, il est de 141 000. 1,34 = 188 940 F, soit, en euros, 28 802, arrondis à 28 800 €. En 2000, la formulation permettant de calculer le PIB en tout point  $i$  du territoire s'exprime de ce fait ainsi :

$$R_i^{te} = 28\,800 \text{ €} \cdot 1/(1 - \text{Log } E_i^{90}/25)$$

*NB : dans la publication de septembre 1994 adressée au CGPC, le PIB des zones rurales isolées a été arrondi pour des raisons de commodité à 140 000 F, conduisant à un PIB en 2000 de 187 600 F, soit, en euros, 28 578, arrondis à 28 600 €. Mais c'est la valeur 141 000 F en 1990, 188 940 F en 2000, soit, en euros, 28 800 € qui est la plus pertinente et la plus cohérente. Si on adopte la valeur de 140 000 F en 1990, soit 187 600 F en 2000 ou encore 28 600 €, le rapport moyen entre le PIB et le salaire annuel net est alors de 2,4135 et non de 2,4343, le nombre de déplacements équivalents pour tous motifs économiques est de 956 et non de 964 et le coefficient applicable à la formule de base du calcul de la valeur pour tous les déplacements à vocation économique de 159,29 en on de 160,66.*

$$\begin{aligned} &= R_r^{te} \cdot (25/(25 - \text{Log } E_i^{90-2}) - 25/(25 - \text{Log } E_i^{90-1})) \\ &= R_r^{te} \cdot ((25 - \text{Log } E_i^{90-2} + \text{Log } E_i^{90-2})/(25 - \text{Log } E_i^{90-2}) - (25 - \text{Log } E_i^{90-1} + \text{Log } E_i^{90-1})/(25 - \text{Log } E_i^{90-1})) \\ &= R_r^{te} \cdot ((1 + \text{Log } E_i^{90-2}/(25 - \text{Log } E_i^{90-2})) - (1 + \text{Log } E_i^{90-1}/(25 - \text{Log } E_i^{90-1}))) \\ &= R_r^{te} \cdot (\text{Log } E_i^{90-2}/(25 - \text{Log } E_i^{90-2}) - \text{Log } E_i^{90-1}/(25 - \text{Log } E_i^{90-1})) \\ &\text{très voisin de: } R_r^{te} \cdot [(1/(25 - \text{Log } E_i^{90-1})) \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (1/(25 - \text{Log } E_i^{90-2}) - 1/(25 - \text{Log } E_i^{90-1}))] \\ &= (R_r^{te}/25) \cdot [(25/(25 - \text{Log } E_i^{90-1})) \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (25/(25 - \text{Log } E_i^{90-2}) - 25/(25 - \text{Log } E_i^{90-1}))] \\ &= (R_r^{te}/25) \cdot [(1/(1 - \text{Log } E_i^{90-1}/25)) \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (1/(1 - \text{Log } E_i^{90-2}/25) - 1/(1 - \text{Log } E_i^{90-1}/25))] \\ &= (R_r^{te-1}/25) \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (R_i^{te-2}/25 - R_i^{te-1}/25) \\ &= (2,4343 \cdot 1650 \cdot C_0^{\circ 1}/25) \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (2,4343 \cdot 1650 \cdot C_0^{\circ 2}/25 - 2,4343 \cdot 1650 \cdot C_0^{\circ 1}/25) \\ &= 160,66 [C_0^{\circ 1} \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (C_0^{\circ 2} - C_0^{\circ 1})]. \end{aligned}$$

On retrouve bien l'expression:  $U_i^{te-2} - U_i^{te-1} = 160,66 \cdot [C_0^{\circ 1} \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - \text{Log } E_i^{90-1}) + \text{Log } E_i^{90-1} \cdot (C_0^{\circ 2} - C_0^{\circ 1})]$ , dans laquelle le coût de l'heure travaillée est celle,  $C_0^{\circ 1}$ , de l'actif avant réalisation de l'infrastructure nouvelle et celle,  $C_0^{\circ 2}$ , de l'actif après réalisation de l'infrastructure. Les deux approches sont parfaitement concordantes. On pourra donc les utiliser indifféremment.

En 1990, comme on l'a vu, le salaire horaire net dans les zones rurales isolées  $C_0^{\circ}$ , était de 58 000 F/1650 = 35,1515 F. En 2000, il est de 35,1515.1, 34 = 47,1030 F, soit en euros 7,1803 €. En 2000, la formulation permettant de calculer le salaire annuel net en tout point i du territoire s'exprime ainsi :

$$C_0^{\circ i^1} = 7,1803 \text{ €} \cdot 1 / (1 - \text{Log } E_i^{90-1}/25)$$

Si on cherche à déterminer le salaire horaire *moyen* d'un actif résidant dans une agglomération, il suffit d'appliquer la formule :

$$C_0^{\circ i^1} = C_0^{\circ r} \cdot 1 / (1 - \text{Log } E_i^{90-1}/25) = 7,1803 \text{ €} \cdot 1 / (1 - \text{Log } E_i^{90-1}/25)$$

dans laquelle  $E_i^{90-1}$  est égal à 800 000 x 0,450 x 0,670 = 241 200 emplois (hypothèses à adapter en fonction de la taille des agglomérations desservies).

On trouve, comme déjà indiqué :  $C_0^{\circ bx^1} = 14,2393 \text{ €}$ .

Si on adopte, pour le coût de l'heure travaillée, le coût horaire moyen d'un actif, soit 14,2393 €, et, pour le logarithme du nombre moyen des emplois accessibles dans le 90<sup>ème</sup> percentile, la valeur de 12,3934, l'utilité annuelle de l'infrastructure pour cet actif moyen au titre de tous les déplacements à vocation économique est égal à :

$$U_i^{te-2} - U_i^{te-1} = 2287,68 \text{ €} \cdot (\text{Log } E_i^{90-2} - 12,3934) + 1991,12 \cdot (C_0^{\circ i^2} \text{ €} - 14,2393 \text{ €}).$$

Comme pour les déplacements domicile travail, le nombre d'emplois  $E_i^{90}$  à prendre en considération sera celui des emplois dénombrables à l'intérieur du territoire qui est délimité par l'isochrone 90<sup>ème</sup> percentile. Le temps pris en considération est le temps utile, c'est-à-dire celui excluant les trajets terminaux. Le temps de référence pris en considération sera donc le double du temps moyen utile, soit deux fois 20 min = 40 minutes utiles.

Enfin, le résultat par actif sera multiplié par le nombre d'actifs résidant dans une commune pour obtenir le résultat par commune.

### 2.2.3. Calcul des performances naturelles

L'utilité attachée, au cours d'une année, à la possibilité d'effectuer un choix pertinent entre les différents espaces naturels commodément accessibles à partir de la zone de résidence i, c'est-à-dire la performance naturelle annuelle liée aux déplacements pour loisirs verts d'un actif de la zone i et des membres de la famille qui lui sont rattachés s'exprime sous la forme :

$$U_i^n = N_i^n \cdot (C_0^{\circ i} / \alpha_n^{\circ}) \cdot \text{Log } Q_i^{n90}$$

avec  $N_i^n$  nombre de déplacements totaux annuels pour loisirs verts d'un actif de la zone i et des membres de la famille qui lui sont rattachés,  $C_0^{\circ i}$  coût de l'heure travaillée de l'actif résidant en i,  $\alpha_n^{\circ}$  coefficient fixant le rythme de décroissance de l'exponentielle décroissante du temps de transport pour le motif loisirs verts et  $E_i^{90}$  nombre d'ares d'espaces naturels décomptés à l'intérieur de l'isochrone 90 (c'est-à-dire de l'isochrone qui n'est dépassée que par 10% des actifs issus de i et des membres de la famille qui lui sont rattachés dans les déplacements qu'ils effectuent pour le motif loisirs verts).

Le nombre  $N_i^n$  de déplacements annuels pour le motif loisirs verts effectués par un actif et les membres de la famille qui lui sont rattachés est égal, en jours ouvrables, à 88 et, en jours non ouvrables, à 132, portant à 220 le nombre de déplacements pour loisirs verts effectués au cours de l'année.

Le coefficient  $\alpha_n^{\circ}$  pour les déplacements loisirs verts est égal à 8,76. Si on adoptait formellement le coefficient  $\alpha^{\circ}$  associé aux déplacements domicile travail, le nombre de déplacements équivalents serait de  $220 \cdot (6/8,76) = 150,68$

On obtient donc :

$$U_i^n = N_i^n \cdot (C_0^{\circ} / \alpha^n) \cdot \text{Log } Q_i^{n90} = 220 \cdot (C_0^{\circ} / 8,76) \cdot \text{Log } Q_i^{n90} \\ = 150,68 \cdot (C_0^{\circ} / 6) \cdot \text{Log } Q_i^{n90} = 25,11 \cdot C_0^{\circ} \cdot \text{Log } Q_i^{n90}$$

Lorsqu'une infrastructure nouvelle est mise en service, l'augmentation de l'utilité annuelle attachée aux déplacements pour loisirs verts d'un actif de la zone i et des membres de la famille qui lui sont rattachés est égale à :

$$U_i^{n-2} - U_i^{n-1} = 25,11 \cdot [C_0^{\circ 1} \cdot (\text{Log } Q_i^{n90-2} - \text{Log } Q_i^{n90-1}) + \text{Log } Q_i^{n90-1} \cdot (C_0^{\circ 2} - C_0^{\circ 1})]$$

Le coût horaire  $C_0^{\circ} i$  à prendre en considération aussi bien avant la mise en service de l'infrastructure nouvelle,  $C_0^{\circ 1}$ , qu'après la mise en service,  $C_0^{\circ 2}$ , est celui de l'actif résidant dans la zone i. Il s'agit donc du coût qui se calcule selon la formule :

$$C_0^{\circ} i = C_0^{\circ} r \cdot 1 / (1 - \text{Log } E_i^{90} / 25)$$

On a ainsi :

$$C_0^{\circ 1} = C_0^{\circ} r \cdot 1 / (1 - \text{Log } E_i^{90-1} / 25)$$

$$C_0^{\circ 2} = C_0^{\circ} r \cdot 1 / (1 - \text{Log } E_i^{90-2} / 25)$$

A l'horizon 2000, la formule s'écrit, comme déjà vu :  $C_0^{\circ} i = 7,1803 \text{ €} \cdot 1 / (1 - \text{Log } E_i^{90} / 25)$ .

Si on souhaite adopter une valeur moyenne pour telle agglomération, on peut retenir à l'horizon 2000, en appliquant la formule précédente avec  $E_i^{90} = 241\ 200$  emplois (hypothèse à adapter en fonction de la taille des agglomérations desservies), comme on l'a déjà indiqué, la valeur de  $7,1803 \text{ €} \times 1,9831 = 14,2393 \text{ €}$ .

Cela donne en valeur moyenne la formulation suivante pour la détermination de l'utilité annuelle des déplacements pour loisirs verts (valeur 2000) :

$$U_i^n = 25,11 \cdot C_0^{\circ} i \cdot \text{Log } Q_i^{n90} = 25,11 \cdot 14,2393 \text{ €} \cdot \text{Log } Q_i^{n90} = 357,55 \text{ €} \cdot \text{Log } Q_i^{n90}$$

Pour l'évaluation de l'utilité annuelle d'une infrastructure nouvelle au titre des déplacements pour loisirs verts, on obtient dans ces conditions moyennes :

$$U_i^{n-2} - U_i^{n-1} = 357,55 \text{ €} \cdot (\text{Log } Q_i^{n90-2} - \text{Log } Q_i^{n90-1}) + 25,11 \cdot \text{Log } Q_i^{n90-1} \cdot (C_0^{\circ 2} \text{ €} - 14,2393 \text{ €})$$

Des évaluations du même type devraient être effectuées pour les agglomérations avec des valeurs de  $E_i^{90-1}$  adaptées.

Dans la formule qui précède, la quantité d'espaces naturels  $Q_i^{n90}$  correspond à la superficie des espaces naturels, exprimée en ares, dénombrables à l'intérieur du territoire qui est délimité par l'isochrone 90<sup>ème</sup> percentile, c'est-à-dire l'isochrone qui n'est dépassé que par 10% des actifs et des membres du ménage qui leur sont associés de la zone i. Les percentiles s'appliquent aux temps utiles  $t_i^1$  des déplacements pour motif loisirs verts, c'est-à-dire exclusion faite des trajets terminaux qui n'ont pas d'effet sur les univers de choix des destinations naturelles commodément accessibles. Le temps correspondant au 90<sup>ème</sup> percentile est très proche du double du temps moyen. Le temps moyen utile pour les déplacements répondant au motif loisirs verts est égal à  $2 / \alpha^n = 2 / 8,76 = 13,70 \text{ min}$ . On adoptera donc comme temps de référence pour la détermination de l'isochrone 90<sup>ème</sup> percentile, la valeur de 27,4 min, arrondi à 27,5 minutes.

Les espaces naturels n'ont pas tous le même pouvoir d'attraction. Une étude du 13 février 2006 de la Direction régionale de l'équipement d'Île de France, reposant sur l'analyse des résultats de l'enquête globale de transport de 2001, fait apparaître le besoin de pondérer de la façon suivante les surfaces d'espaces naturels aquatiques, agricoles et forestiers :

- Espaces aquatiques : 9,2048
- Espaces agricoles : 1,1395
- Espaces forestiers : 0,1794

On multipliera donc les surfaces aquatiques, agricoles et forestières, exprimées en ares, par ces coefficients respectifs pour déterminer le nombre d'ares d'espaces naturels équivalents, à introduire dans la quantité  $Q_i^{n_{90}}$  servant à la formulation de l'utilité des espaces naturels.

L'unité représentée par un are correspond à la situation de référence où le choix du ménage est réduit à celle de l'accès à son logement (en moyenne un are), ce qui est l'illustration d'un choix d'espace limité au minimum fonctionnel.

Enfin pour obtenir le résultat par commune, on multipliera le résultat par actif et membres du ménage associés, par le nombre d'actifs de la commune.

## 2.3. ADAPTATION DE LA METHODE DE REFERENCE AU PROJET

### 2.3.1. Préambule

Les premiers calculs réalisés dans la continuité des travaux menés par setec international pour RFF dans le cadre de l'évaluation du SNIT ont montré que la méthodologie de base des calculs de performances économiques liées à l'accessibilité n'était pas adaptée aux projets de ligne à grande vitesse :

- Tout d'abord, l'utilisation de l'utilité brute limitée à l'isochrone du 90<sup>ème</sup> percentile induit un effet de seuil sans doute pertinent pour des déplacements quotidiens mais beaucoup moins dans le cas des déplacements longue distance ;
- Ensuite, l'utilité brute fait l'hypothèse que le coût généralisé de transport est constant : cette hypothèse n'est pas vérifiée dans le cas des projets de LGV où une partie du surplus des usagers est capté par l'augmentation des tarifs ferroviaires (pour financer la nouvelle infrastructure notamment). Cette hypothèse est par ailleurs également mise en défaut à partir du moment où l'on considère que le salaire horaire varie en fonction de l'accessibilité, la valeur du temps dépendant du salaire horaire.

Les paragraphes suivants détaillent l'approche mise en œuvre afin de s'affranchir du mieux possible des deux limites de la méthode soulignées ci-dessus.

### 2.3.2. Utilité nette versus utilité brute : valorisation de l'accès à l'ensemble des zones

#### Déplacement depuis une zone i vers une zone j

L'ensemble de la démarche s'appuie sur la définition d'un modèle de génération / distribution de la demande permettant d'évaluer le nombre de déplacements d'une zone d'origine i vers une zone de destination j, pour un motif donné. La probabilité pour qu'un déplacement issu de i s'effectue vers j, pour ce motif, dépend de deux paramètres :

- La quantité  $Q_j$  de biens convoités disponibles dans la zone j de destination. La nature de ces biens dépend du motif étudié, mais deux sont ultérieurement utilisés : la quantité d'emplois pour les déplacements à vocation économique et la surface d'espaces naturels représentative des déplacements de loisir.
- Le second paramètre est une fonction décroissante du coût généralisé d'un déplacement de i vers j. La formulation du modèle de génération / distribution correspondant le mieux aux enquêtes est une exponentielle décroissante.

Ainsi, la probabilité  $p_{ij}$  pour qu'un déplacement issu de i ait j pour destination vaut :

$$p_{ij} = k \times Q_j \times e^{-\alpha^\circ \times \frac{C_{ij}}{C_{0i}^\circ}} = k \times e^{\frac{\alpha^\circ}{C_{0i}^\circ} \times \left[ \frac{C_{0i}^\circ}{\alpha^\circ} \log(Q_j) - C_{ij} \right]}$$

$C_{0i}^\circ$  valeur d'une heure travaillée, pour un actif de la zone i

$C_{ij}$  coût généralisé d'un déplacement de i vers j

k facteur normatif

Le paramètre  $\alpha^\circ$  dépend des motifs étudiés et est déterminé afin de correspondre aux résultats des enquêtes. Il vaut environ 4 pour le motif travail.

L'exponentielle fait apparaître un terme  $\frac{C_{0i}^o}{\alpha^o} \log(Q_j)$  auquel est soustrait le coût généralisé. Ce terme définit l'utilité brute moyenne de l'accès aux biens  $Q_j$  :

$$U_{ij} = \frac{C_{0i}^o}{\alpha^o} \times \text{Log}(Q_j)$$

Lorsque l'on associe la valeur d'une heure travaillée  $C_{0i}^o$  au coût généralisé d'une heure de transport, cette probabilité de déplacement peut également s'exprimer directement en fonction du temps de transport entre  $i$  et  $j$  :

$$p_{ij} = k \times Q_j \times e^{-\alpha^o \times T_{ij}}$$

$T_{ij}$  temps du trajet entre  $i$  et  $j$ , exprimé en heures

L'utilité nette, c'est-à-dire l'utilité moyenne perçue du trajet par une personne en  $i$  d'avoir accès à ces biens convoités, correspond ainsi à l'utilité brute à laquelle on soustrait le coût généralisé du déplacement :

$$S_{ij} = U_{ij} - C_{ij}$$

Il apparaît donc que la probabilité de déplacement varie avec l'utilité moyenne du déplacement pour les acteurs situés en  $i$ . Le déplacement ne s'effectuera que si l'utilité des biens convoités en  $j$  est supérieure au coût généralisé d'un déplacement jusqu'à  $j$ .

### Déplacements depuis une zone $i$ vers toutes les zones accessibles

Il convient ensuite de comprendre comment « s'ajoutent » les utilités des différentes zones  $j$  auxquelles  $i$  a accès. Pour cela, on considère la zone  $\omega$ , ensemble de différentes zones  $j$ .

Assez naturellement, il vient : 
$$P_{i\omega} = \sum_{j \in \omega} P_{ij}$$

C'est-à-dire : 
$$k \times Q_\omega \times e^{-\alpha^o \times \frac{C_{i\omega}}{C_{0i}^o}} = \sum_{j \in \omega} k \times Q_j \times e^{-\alpha^o \times \frac{C_{ij}}{C_{0i}^o}}$$

Or : 
$$Q_\omega = \sum_{j \in \omega} Q_j$$

Donc : 
$$C_{i\omega} = -\frac{C_{0i}^o}{\alpha^o} \times \log \left( \frac{\sum_{j \in \omega} Q_j \times e^{-\alpha^o \times \frac{C_{ij}}{C_{0i}^o}}}{\sum_{j \in \omega} Q_j} \right)$$

Comme 
$$S_{i\omega} = U_{i\omega} - C_{i\omega} = \frac{C_{0i}^o}{\alpha^o} \times \text{Log}(Q_\omega) - C_{i\omega}$$

On obtient, par identification :

$$S_{i\omega} = \frac{C_{0i}^o}{\alpha^o} \times \log \left( \sum_{j \in \omega} Q_j \times e^{-\alpha^o \times \frac{C_{ij}}{C_{0i}^o}} \right)$$

$$U_{i\omega} = \frac{C_{0i}^o}{\alpha^o} \times \log \left( \sum_{j \in \omega} Q_j \right)$$

En élargissant ce calcul à l'ensemble des différents territoires accessibles, on définit ainsi une utilité nette moyenne des territoires accessibles depuis i, pour ce motif :

$$S_i = U_i - C_i$$

Dans cette égalité, l'utilité nette moyenne  $S_i$ , est définie, grâce aux calculs ci-dessus, **comme le log de la somme (log somme) du nombre d'emplois accessibles, pondérés par leur facteur de décroissance :**

$$S_i = \frac{C_{0i}^o}{\alpha^o} \times \text{Log} \left( \sum_j Q_j \times e^{-\alpha^o \times \frac{C_{ij}}{C_{0i}^o}} \right)$$

### 2.3.3. Calcul des coûts généralisés

Deux méthodes sont employées pour évaluer les coûts généralisés de déplacement de zone à zone :

#### Méthode « coût minimum »

La première méthode retient pour chaque origine-destination le coût généralisé minimum entre les solutions « fer », « route » et « air » :

$$C_{ij} = \min (C_{ij} \text{ route}, C_{ij} \text{ fer}, C_{ij} \text{ air})$$

#### Méthode « coût pondéré »

La méthode « coût pondéré » estime le coût généralisé moyen des déplacements effectués entre l'origine et la destination sur la base des coûts généralisés des solutions existantes entre l'origine et la destination : « route » dans tous les cas, « fer » et « air » le cas échéant ; et du partage modal des déplacements considérés.

$$C_{ij} = (p_v * C_{ij} \text{ route} + p_f * C_{ij} \text{ fer} + p_a * C_{ij} \text{ air}) / (p_a + p_v + p_f)$$

Les parts modales utilisées ont été fixées sur la base de la situation de référence de manière à éliminer les situations où une amélioration de la solution « fer » se traduit par une dégradation du « coût généralisé » pondéré (cas où la solution « fer » gagne des parts de marché, tout en restant moins chère que la solution « route »).

Nous détaillons ci-dessous les méthodes de calcul des coûts généralisés des différents modes de transport pris en compte. Les hypothèses sont conformes à celles prises pour les études de trafic.

### **Coût « route »**

Le coût généralisé pour la solution « route » est estimé à partir du modèle routier Transcad. Une matrice origine-destination canton à canton est élaborée pour renseigner les différents indicateurs nécessaires au coût généralisé : temps de parcours sur l'itinéraire le plus court, distance totale parcourue, distance parcourue sur autoroute.

La composante « temps » du coût généralisé prend en compte les temps de parcours ainsi que des temps de pause (20 min par tranche de 2h) :

$$\text{Coi} \times (\text{tps route} + E[\text{tps route} / 2] / 3)$$

La composante monétaire du coût généralisé prend en compte un coût kilométrique, les éventuels péages autoroutiers et le taux d'occupation moyen des véhicules :

$$(D \text{ route} \times \text{coût km} + D \text{ autoroute} \times \text{coût km péage}) / \text{Tx occ}$$

Avec

Coût km = 0,248 €/km (valeur 2008) et 0,25 €/km (valeur 2025), coût complet de l'utilisation du véhicule, toutes routes confondues, hypothèses conformes aux hypothèses prises dans le modèle de trafic

Coût km péage = 0,088 €/km (valeur 2008) et 0,096 €/km (valeur 2025, selon hypothèse de croissance fixée par RFF à +0,5%/an)

Tx occ : taux d'occupation calculé à partir de la base d'offre du scénario référence pour chaque origine destination (taux d'occupation pondéré en fonction du poids des motifs pour l'ensemble des déplacements pour motifs économiques).

### **Coût fer**

Le coût généralisé de la solution « fer » prend en compte les rabattements / diffusion à la gare la plus proche et le voyage ferroviaire proprement dit (incluant temps d'attente et correspondances éventuelles).

Rabattement et diffusion sont calculés sur le réseau routier (cf. coût route) : connexion à la gare la plus proche.

Le coût généralisé du voyage ferroviaire est calculé à partir des bases d'offre du modèle de trafic. Il prend en compte :

- Le temps d'accès au train (5 min) ;
- La moyenne des temps de parcours (qui inclut les temps de correspondances éventuelles) ;
- La fréquence (différentielle entre projet et référence) ;
- Le nombre de correspondance (prise en compte du différentiel entre projet et référence) ;
- Le coût monétaire : moyenne pondérée des coûts par motif et classe.

## Coût air

Le coût généralisé de la solution « air » prend en compte les rabattements / diffusion à l'aéroport le plus proche et le voyage aérien proprement dit (incluant temps d'attente et correspondances éventuelles).

Rabattement et diffusion sont calculés sur le réseau routier (cf. coût route) : connexion à l'aéroport le plus proche.

Le coût du voyage aérien prend en compte le temps d'accès à l'avion, le temps de précaution, la moyenne des temps de parcours (qui inclut les correspondances éventuelles), la fréquence et le nombre de correspondance (prise en compte du différentiel entre projet et référence) et le coût monétaire du voyage (moyenne pondérée des coûts par motif et classe).

### 2.3.4. Dépendance du salaire horaire à l'accessibilité

Une analyse économétrique effectuée sur l'ensemble de la France<sup>6</sup> a permis d'estimer une

formulation reliant salaire horaire et  $Log\left(\sum_j E_j \times e^{-\alpha \frac{C_{ij}}{C_{0i}}}\right)$  : le salaire horaire d'une zone est

d'autant plus élevé que la zone est accessible.

Dans le cadre de cette étude, nous avons réévalué sur l'ensemble des zones prises en compte la dépendance du salaire horaire à l'accessibilité.

$C_{0i}$  : salaire horaire moyen de la zone  $i$  (donnée INSEE 2007)

Données issues de la base DADS (déclaration annuelle des salaires)

Soit  $\varphi_i$  : formulation introduite pour caractériser la dépendance

du salaire horaire moyen de la zone  $i$  à l'accessibilité de la zone  $i$

$$\varphi_i = \frac{a}{1 - \frac{\log\left(\sum_j E_j e^{-\alpha \frac{C_{ij}}{C_{0i}}}\right)}{b}}$$

Les coefficients (a, b) sont calculés par régression : il s'agit du meilleur couple de valeurs propres à caractériser l'ensemble des  $C_{0i}$ . On cherche a et b tel que :  $C_{0i} = \Phi_i$ .

La régression est effectuée en prenant en compte l'ensemble des cantons situés dans la zone d'impact du projet – zone pour laquelle est calculé l'ensemble des  $C_{ij}$  nécessaires ; les

---

<sup>6</sup> Cette analyse économétrique a déjà été utilisée par Jean Poulit dans le cadre d'études effectuées sur les projets de LGV Bordeaux-Toulouse et Bordeaux-Espagne.

NB : La formulation suppose que la dépendance du salaire horaire à l'accessibilité n'est prise qu'au premier ordre (on ne modifie pas le salaire horaire intervenant dans le logsomme).

calculs sont effectués dans les deux cas : Cij minimum et Cij pondéré des alternatives modales prises en compte : fer, route, air.

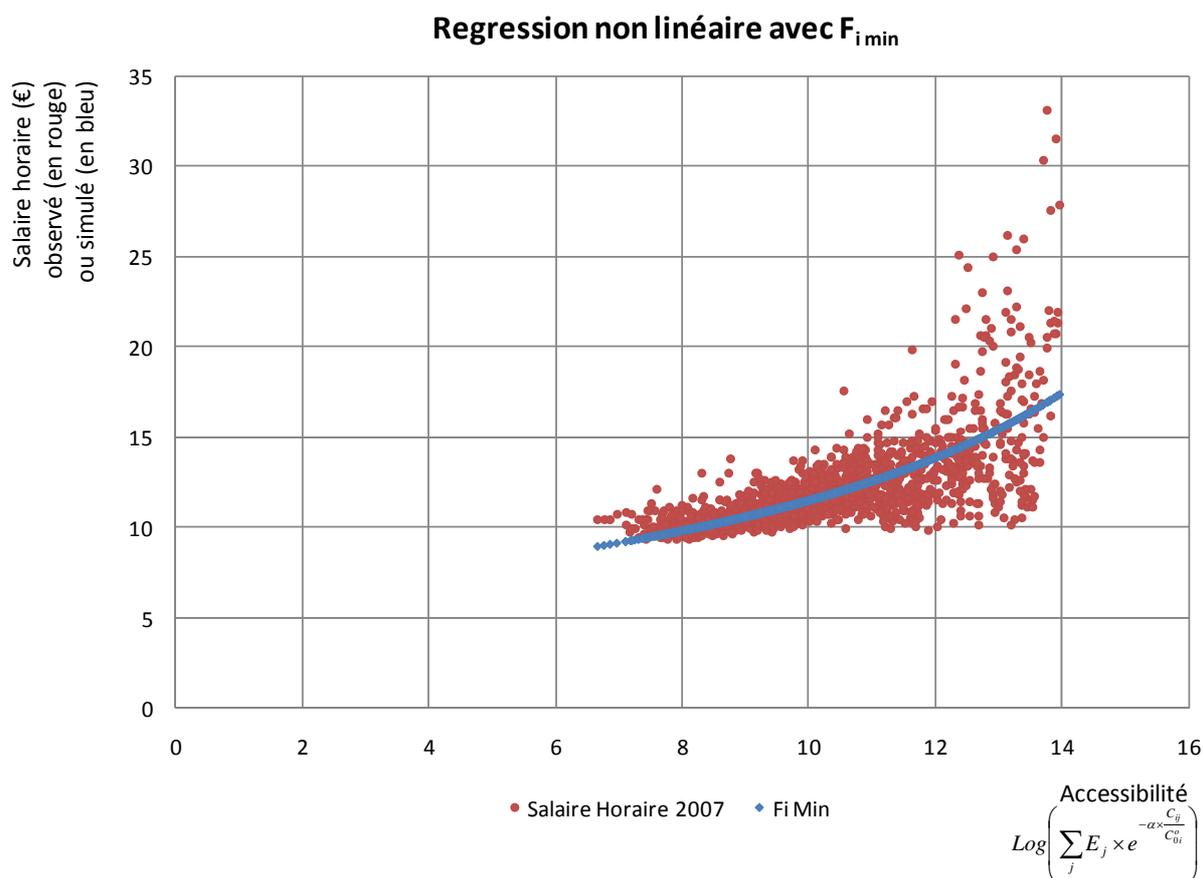
$C_{Si}$  : coefficient de spécificité locale de la zone  $i$

Le coefficient de spécificité locale mesure en situation 2007/2008 l'écart entre le salaire horaire moyen observé dans la zone  $i$  et la composante « accessibilité » du salaire horaire (donnée par la formule prenant en compte la dépendance du salaire horaire à l'accessibilité de la zone considérée) :

$$C_{Si} = \frac{C_{0i}}{\varphi_i}$$

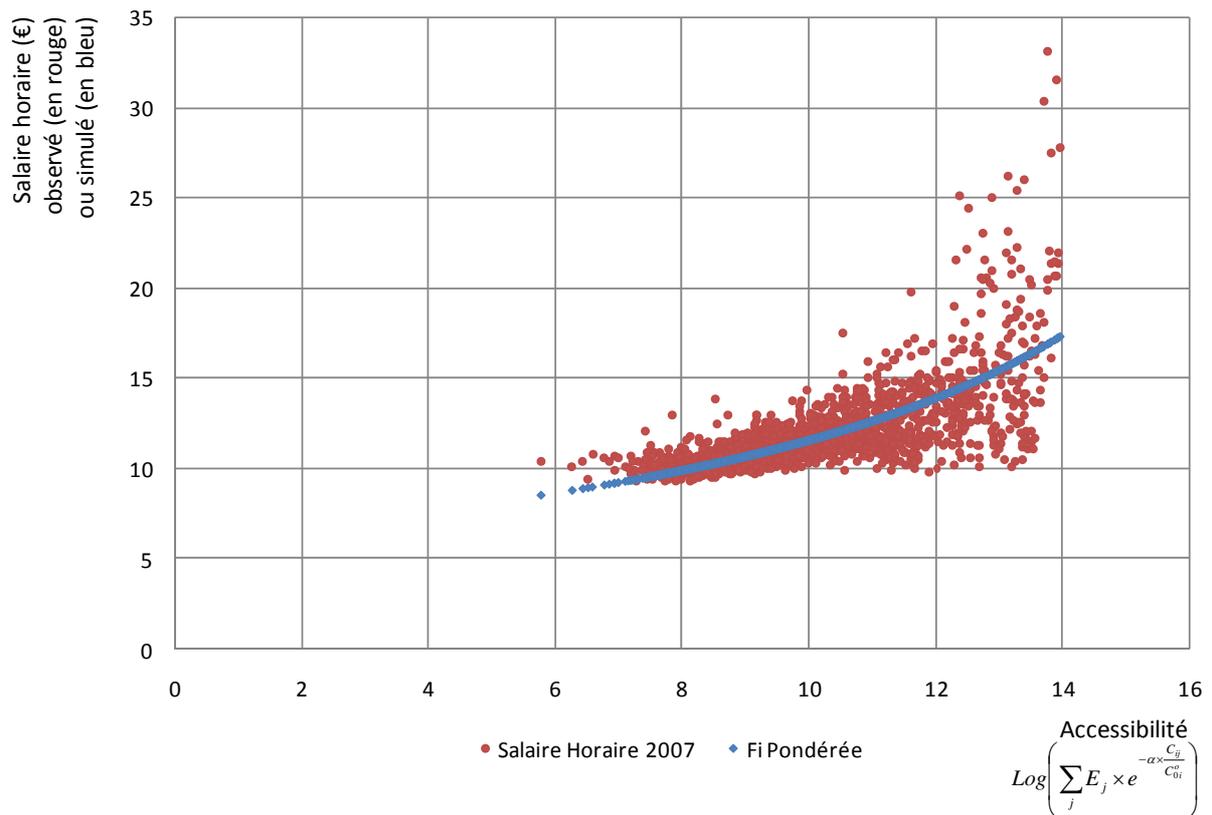
L'ensemble de ces calculs est effectué en situation 2007/2008 sur la base du scénario fil de l'eau. Il est effectué avec chacune des méthodes de calcul des coûts généralisés de déplacement : Cij minimum et Cij pondéré des alternatives modales prises en compte : fer, route, air.

Les graphiques ci-dessous présentent les distributions obtenues et les valeurs de (a, b).



**Figure 1. Salaire horaire observé en fonction de la formulation économétrique avec dépendance à l'accessibilité (méthode coût minimum). a = 6,16 ; b = 21,74**

### Regression non linéaire avec $F_i$ pondérée



**Figure 2. Salaire horaire en fonction de la formulation économétrique avec dépendance à l'accessibilité (méthode coût pondéré).  $a = 6,31$  ;  $b = 22,04$**

*Pour la suite de l'étude, nous avons retenu les coefficients calculés avec la méthode du « coût minimum », compte tenu du peu d'incidences de la variation des coefficients entre les deux méthodes. Les coefficients  $a$ ,  $b$  et  $C_{si}$  ont donc été fixés pour tous les scénarios à partir des calculs effectués avec la méthode du « coût minimum » sur les données de la situation 2007/2008 de référence.*

*Les calculs ont été refaits ultérieurement avec le coefficient alpha défini par la formule*

$$\text{alpha} = \max (4 - 0,4142 \text{ Tij} ; 2)$$

*définie dans le paragraphe 2.5.3.*

*Les valeurs de  $a$  et  $b$  de la formulation économétrique reliant le salaire horaire à l'accessibilité sont respectivement fixées à :*

$$a = 6,46405901$$

$$b = 21,8335851$$

### 2.3.5. Formulation finale de l'utilité nette pour les performances économiques

En intégrant cette formulation dans l'équation précédente relative à l'utilité nette, on obtient la formulation suivante :

$$S_i = N_a \times C_{S_i} \times \frac{6,46}{\alpha^\circ} \frac{\log \left( \sum_j E_j \times e^{-\alpha \times \frac{C_{ij}}{C_{0i}^\circ}} \right)}{1 - \frac{\log \left( \sum_j E_j \times e^{-\alpha \times \frac{C_{ij}}{C_{0i}^\circ}} \right)}{21,83}}$$

Avec

$E_j$  Nombre d'emplois disponibles en j

$\alpha^\circ = 4$  Paramètre de décroissance

*Le coefficient alpha vaut environ 4 lorsqu'on compte dans le coût généralisé la somme du coût en temps et du coût monétaire du déplacement. La valeur de alpha sera ré-estimée ultérieurement dans l'étude compte tenu de la sensibilité du modèle à ce paramètre (cf. § 2.5.3).*

$N_a = 964$  Nombre annuel moyen par actif de déplacements équivalents à tous motifs économiques<sup>7</sup>

$C_{0i}^\circ$  Valeur moyenne d'une heure travaillée, pour un actif de la zone i à l'année de base

$C_{ij}$  Coût généralisé d'un déplacement de i vers j calculé sur la base du temps minimum tous modes

$C_{S_i}$  Coefficient de spécificité locale pour la zone i : il est calculé en situation de base en faisant le rapport du salaire horaire moyen observé et du salaire horaire donné par la formulation économétrique ; ce coefficient est invariant ensuite en projet.

Le coût généralisé  $C_{ij}$  fait intervenir une composante de prix ou de tarif et une composante liée au temps multipliée par la valeur du temps considérée égale au salaire horaire.

---

<sup>7</sup> Nous reprenons la valeur donnée dans l'annexe II.

## 2.4. MISE EN ŒUVRE DE LA METHODE / APPLICATION A POCL

### 2.4.1. Zonage et découpage de l'information géographique

Le territoire national est découpé au niveau cantonal (cf. Figure 3).

Quelques zones supplémentaires sont prises en compte pour qualifier les opportunités économiques accessibles dans les quartiers de gare des grandes villes situées à l'étranger (Londres, Bruxelles, Genève, Turin).

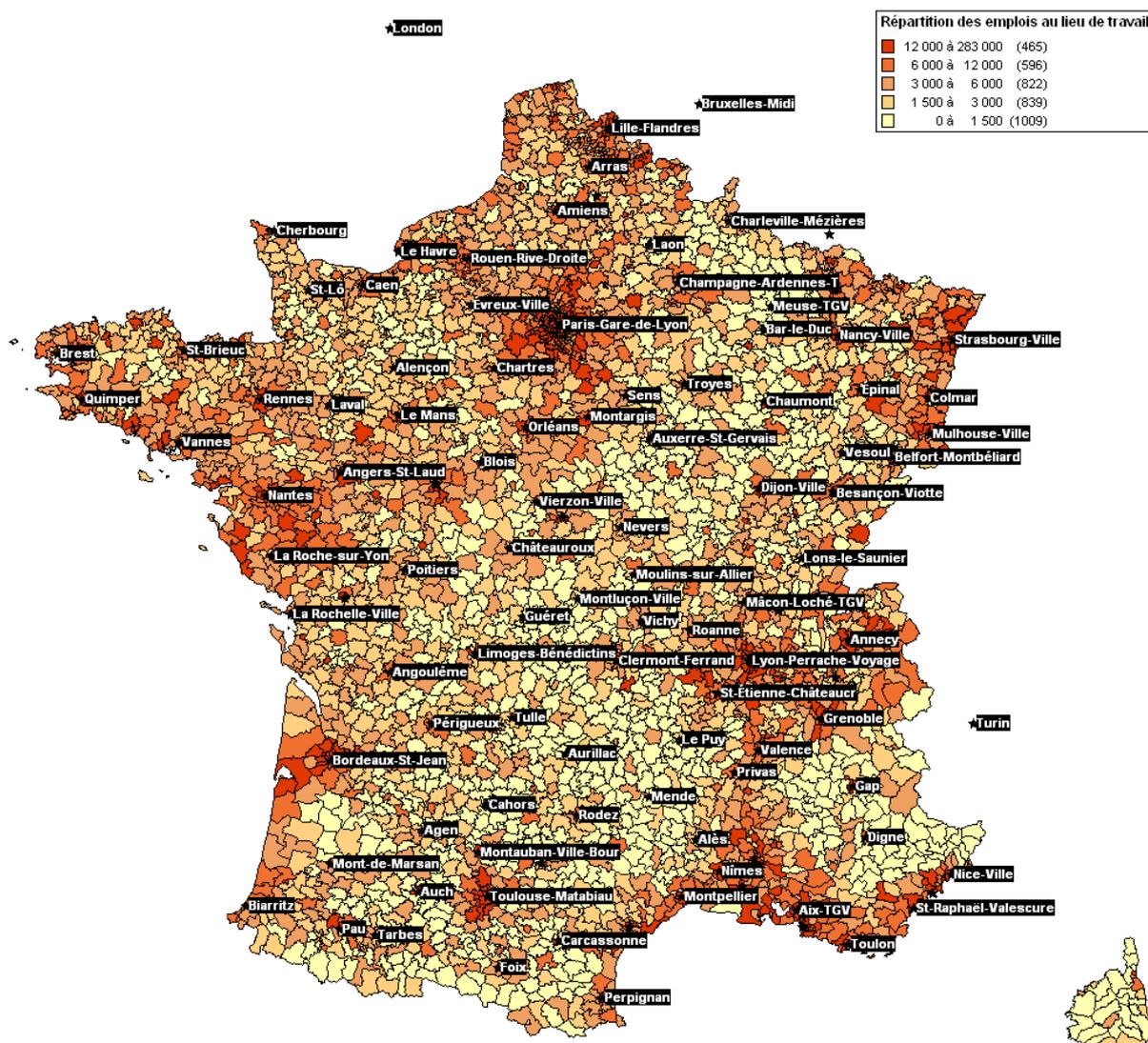


Figure 3. Répartition par canton des emplois au lieu de travail.

Le territoire sur lequel le projet POCL s'insère est relativement peu dense, en population, population active ou emploi, à l'exception des extrémités de la ligne envisagée : Paris, l'Île-de-France voire Orléans au Nord, la métropole lyonnaise et Clermont-Ferrand au Sud.

Dans la méthode utilisée pour évaluer les performances économiques et naturelles liées à l'accessibilité interviennent les données d'actifs et d'emplois au lieu de travail.

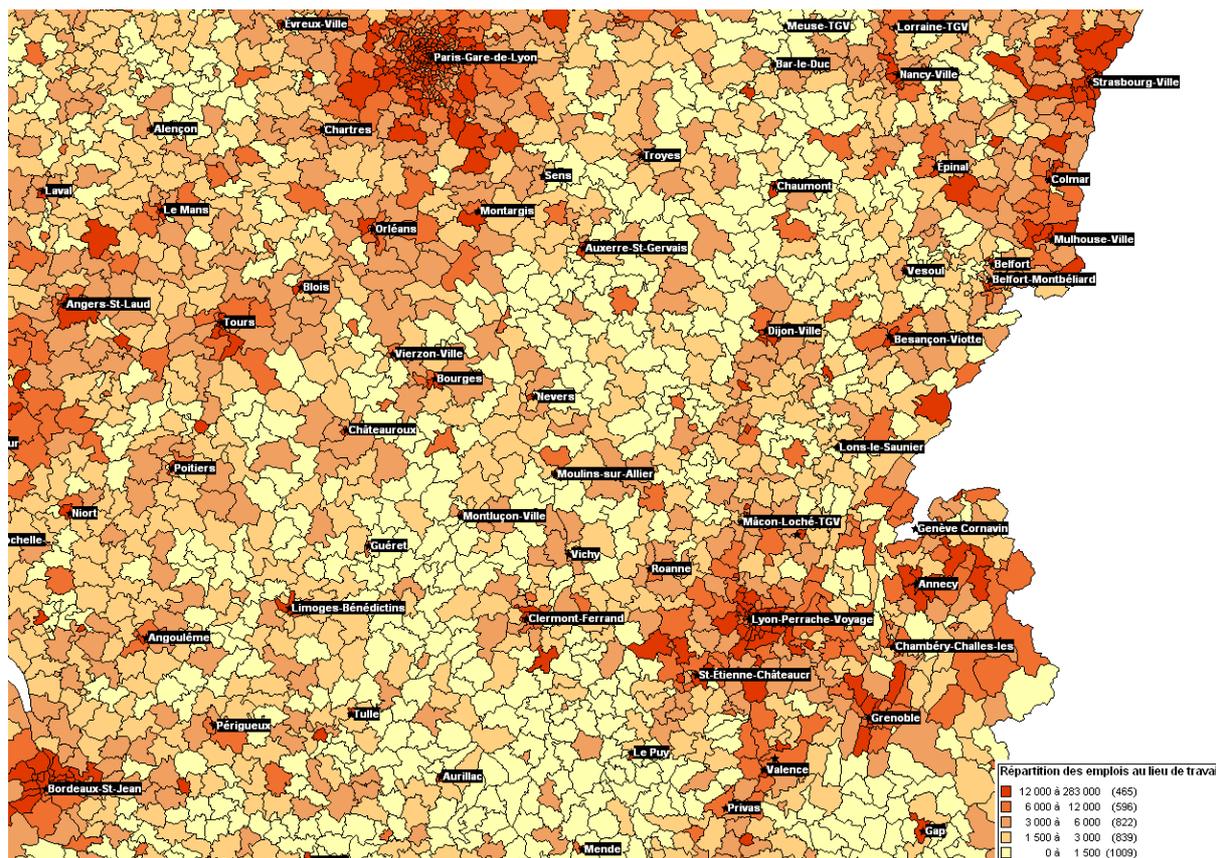


Figure 4. Répartition des emplois au lieu de travail par canton (zoom sur le territoire de projet).

Les calculs de performances économiques et naturelles sont effectués pour l'ensemble des cantons dont les performances sont **susceptibles d'être impactés significativement** par le projet. Dans la suite de l'étude, les calculs d'utilité sont effectués pour l'ensemble des cantons :

- Situés à **moins de deux heures** par la route d'une gare du projet POCL ;
- Situés à **moins de 30 min d'une gare** reliée à moins de deux heures par le train à une gare du projet POCL.

En outre, nous excluons les territoires transfrontaliers dont les performances économiques liées à l'accessibilité dépendent des pays limitrophes (cantons situés au Nord-Est de la France notamment, dont une part significative de la performance économique est liée à la Belgique, au Luxembourg et/ou à l'Allemagne ; cantons français situés à proximité de Genève également). Cette exclusion ne représente toutefois pas une limite importante de l'étude, compte tenu de la localisation et des fonctionnalités offertes par le projet étudié, qui reste relativement éloignés des frontières nationales.

La carte ci-après présente ainsi l'ensemble du territoire correspondant sur lequel les calculs de performances économiques et naturelles ont été effectués dans le cadre de cette étude. Cette zone représente **un ensemble de 1861 cantons soit près de la moitié des cantons français**. Le calcul des utilités est fait pour chacun de ces cantons, en prenant en compte pour chacun d'eux, l'ensemble du territoire métropolitain (et les quartiers de gare des 4 villes européennes prises en compte dans cette étude : Londres, Bruxelles, Genève, Turin).

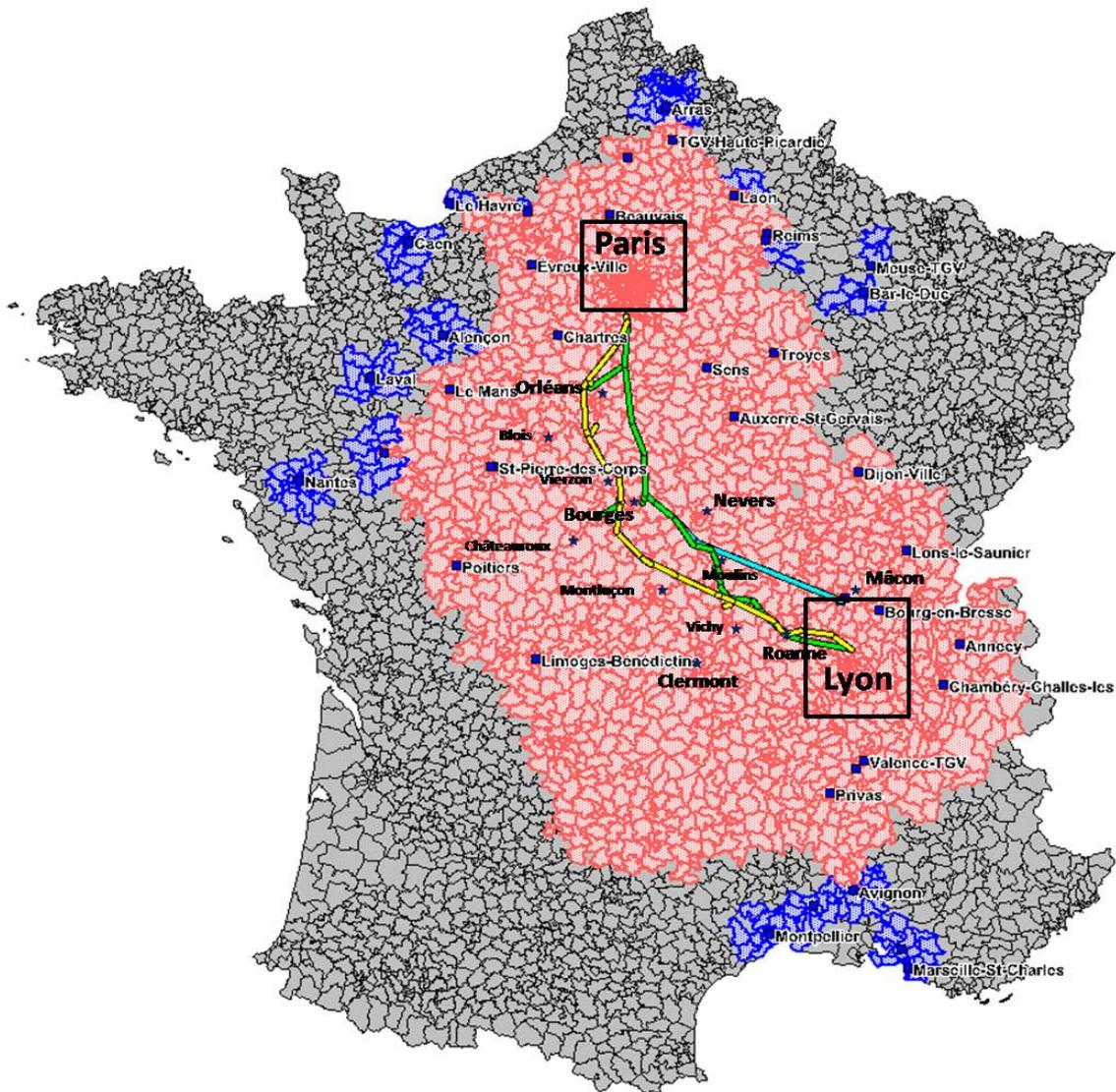


Figure 5. Périmètre sur lequel les calculs sont effectués: en rouge, cantons à 2h en voiture d'une gare du projet; en bleu: cantons à 30 min d'une gare à 2h en train d'une gare du projet.

#### **2.4.2. Données disponibles / données utilisées**

Les calculs d'accessibilité requièrent, outre les données relatives à l'offre et à la demande de transport, les données socio-économiques suivantes :

- Le nombre d'emplois au lieu de travail (à l'échelle du canton pour l'ensemble des zones de destination, soit France entière, données RGP INSEE 2007) ;
- Le nombre d'actifs occupés par canton (sur l'ensemble des cantons situés dans la zone d'influence du projet, données RGP INSEE 2007) ;
- Les valeurs de salaire horaire moyen à l'échelle du canton (sur l'ensemble des cantons situés dans la zone d'influence du projet, données DADS INSEE 2007).

Pour les données d'offre et de demande de transport, l'étude a pu s'appuyer sur les bases mises en place dans le cadre des prévisions de trafic réalisées dans les études précédentes préalables au débat public qui débutera à l'automne 2011.

Les données socio-économiques caractérisant la situation 2007-2008 sont projetées à l'horizon 2025, horizon auquel sont effectués les calculs de performances économiques et naturelles du projet. L'évolution 2008-2025 est caractérisée en conformité avec les hypothèses du référentiel RFF sur la croissance de la population et celle du PIB qui ont aussi été utilisées dans les études socio économiques précédentes :

- Nous faisons évoluer le salaire horaire suivant l'évolution du PIB par habitant ;
- Nous faisons évoluer les actifs et les emplois au lieu de travail suivant les hypothèses d'évolution de la population.

Les hypothèses de croissance sont formulées à l'échelle régionale. Le tableau ci-dessous rappelle les hypothèses prises en compte.

**Tableau 1. Hypothèses de croissance régionale 2009-2060.**

Prévisions de croissance régionale au-delà de 2008, scénario européen « décennie perdue »

Régions	PIB		Population		PIB / Population	
	2009-2025	2026-2060	2009-2025	2026-2060	2009-2025	2026-2060
Ile-de-France	1,69%	1,99%	0,37%	0,19%	1,32%	1,80%
Champagne-Ardenne	0,87%	1,16%	-0,19%	-0,04%	1,06%	1,21%
Picardie	0,75%	1,05%	0,14%	0,06%	0,61%	0,99%
Haute-Normandie	0,93%	1,23%	0,14%	0,09%	0,79%	1,13%
Centre	1,00%	1,30%	0,28%	0,14%	0,72%	1,15%
Basse-Normandie	1,14%	1,44%	0,13%	0,07%	1,01%	1,37%
Bourgogne	0,61%	0,91%	0,01%	0,02%	0,60%	0,89%
Nord-Pas-de-Calais	1,02%	1,32%	0,06%	0,01%	0,96%	1,31%
Lorraine	1,00%	1,30%	-0,07%	0,01%	1,07%	1,29%
Alsace	1,36%	1,66%	0,57%	0,29%	0,78%	1,36%
Franche-Comté	1,24%	1,54%	0,19%	0,07%	1,05%	1,47%
Pays de la Loire	2,28%	2,58%	0,65%	0,30%	1,62%	2,27%
Bretagne	2,00%	2,30%	0,55%	0,25%	1,44%	2,04%
Poitou-Charentes	1,63%	1,94%	0,40%	0,19%	1,23%	1,74%
Aquitaine	1,60%	1,90%	0,62%	0,38%	0,97%	1,51%
Midi-Pyrénées	1,82%	2,12%	0,80%	0,42%	1,01%	1,69%
Limousin	0,63%	0,93%	0,09%	0,04%	0,54%	0,89%
Rhône-Alpes	1,46%	1,76%	0,65%	0,31%	0,81%	1,45%
Auvergne	0,71%	1,01%	0,02%	0,07%	0,69%	0,94%
Languedoc-Roussillon	1,52%	1,82%	1,14%	0,57%	0,38%	1,24%
Provence-Alpes-Côte d'Azur	1,14%	1,44%	0,69%	0,34%	0,44%	1,09%
Corse	1,31%	1,61%	0,55%	0,42%	0,76%	1,19%
<b>France métropolitaine</b>	<b>1,46%</b>	<b>1,80%</b>	<b>0,43%</b>	<b>0,23%</b>	<b>1,03%</b>	<b>1,57%</b>

Sources : hypothèses DG ECFIN pour la France métropolitaine, hypothèses de croissance régionale du BIPE (recalées à partir des hypothèses nationales de la DG ECFIN).

## 2.5. DEVELOPPEMENTS METHODOLOGIQUES COMPLEMENTAIRES

Les premiers résultats obtenus en mettant en œuvre la méthodologie décrite ci-dessus ont montré :

- L'incapacité de la méthode en l'état à restituer la valeur supposément créée par l'infrastructure (appréciée en particulier dans les bilans socio économiques au regard de la valorisation des gains de temps) ;
- La forte sensibilité du calcul à la valeur retenue pour le salaire horaire ;
- Le décalage entre le niveau de la valeur du temps utilisée dans le calcul de valorisation des gains de temps et le salaire horaire moyen ;
- Et la forte sensibilité du calcul à la valeur du paramètre alpha.

Suite à ces constats, plusieurs pistes de travail ont été abordées :

- La première piste consiste à dépasser la limite constituée par la non-linéarité du logsomme qui se traduit par la forte sous-estimation de l'utilité lorsque la formule est appliquée sur la valeur moyenne (la moyenne des utilités calculées pour différentes valeurs de salaire horaire est largement supérieure à l'utilité calculée sur la valeur moyenne des salaires horaires). Dans cet objectif, nous proposons de segmenter la population active par classe de revenus, et d'appliquer la formule pour chaque classe de revenus avant de faire la somme pour obtenir l'utilité pour l'ensemble de la population.
- La seconde piste consiste à revoir la valeur du coefficient alpha compte tenu de la forte sensibilité du modèle à ce paramètre.

Les nouvelles adaptations méthodologiques proposées pour améliorer la pertinence de la méthodologie sont décrites dans les paragraphes qui suivent.

Ces adaptations ont été retenues pour obtenir les résultats exposés dans la partie suivante.

### 2.5.1. Segmentation de la population en classes de revenus

La non-linéarité de la formule utilisée (log somme) a pour conséquence que le log somme de la moyenne des revenus est très inférieure à la moyenne des log sommes des revenus. Cette propriété intrinsèque de la formule utilisée est particulièrement problématique lorsque, comme c'est le cas dans la présente étude, on s'intéresse aux effets d'un projet qui joue sur les déplacements à longue distance, qui sont plus fréquemment réalisés par les personnes des classes de revenu plus élevé.

De manière à mieux prendre en compte cette spécificité de la clientèle longue distance, nous avons calculé les performances économiques pour plusieurs classes de population segmentées par les revenus pour ensuite les sommer. Les données INSEE-DGI « Revenus fiscaux des ménages » fournissent pour les différentes échelles territoriales (en particulier France Métropolitaine et cantons) les revenus par décile de population. Nous faisons l'hypothèse que le salaire horaire suit la même distribution que les revenus et appliquons cette distribution au salaire horaire par décile d'actifs.

Ainsi, sur la base du scénario Ouest sud par exemple, la valeur totale créée en décomposant la population selon les revenus (5 classes, 3 pour les 3 premiers déciles, puis les 30 % suivants et ensuite 40 % restant) est de 19 M€ par an alors qu'elle n'est que de 1,6 M€ sur la base d'une population d'actifs composée de 100 % d'individus « moyens ».

Ces résultats confirment la nécessité de prendre en compte une segmentation de la population par classe de revenus pour les évaluations de gain de performance économique dans le cas notamment des projets de LGV. Nous avons donc conservé cette adaptation méthodologique dans la suite de notre étude.

Par ailleurs, compte tenu que le total obtenu dans l'exemple du scénario Ouest-Sud (19 M€) reste faible au regard de la valorisation des gains de temps qui s'élève à 465 M€ selon le bilan socio-économique réalisé, nous avons proposé de regarder également de plus près la sensibilité du modèle à la valeur d'alpha et essayé de réévaluer la valeur de ce coefficient.

### 2.5.2. Sensibilité du gain de performance économique à la valeur du alpha

Pour estimer la sensibilité du modèle à la valeur du coefficient alpha, nous avons refait les calculs pour le scénario Ouest-Sud pour trois valeurs d'alpha : 4, 3,5 et 3. Les résultats sont dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 2. Sensibilité à la valeur du coefficient alpha.**

<b>Salaire horaire</b>	<b>alpha=4</b>	<b>alpha=3,5</b>	<b>alpha=3</b>
15,74€	19 002 635€	40 517 544€	89 782 474 €

Nous avons ainsi pu vérifier l'extrême sensibilité du modèle à la valeur du paramètre alpha : on multiplie la performance économique par plus de 4,5 en passant d'alpha=4 à alpha=3. Cette forte sensibilité à alpha justifie qu'on essaie d'en préciser la valeur (cf. paragraphe suivant).

Néanmoins, la valeur obtenue pour alpha = 3 reste assez éloignée de la valorisation des gains de temps rappelée ci-dessus.

### 2.5.3. Actualisation de la valeur du coefficient $\alpha$

Compte tenu de la sensibilité du modèle au coefficient alpha, nous avons cherché à actualiser la valeur d'alpha à partir des données de l'Enquête Nationale Transport et Déplacements (ENTD 2008) dont nous disposons, à la fois pour les déplacements à courte distance et les déplacements à longue distance. L'utilisation de cette source de données nécessite de soulever les réserves suivantes :

- L'origine et la destination ne sont connues qu'au niveau des départements (et non pas au niveau des cantons) ce qui pose problème pour l'estimation du nombre d'actifs à l'origine et du nombre d'emplois à destination (nous avons pris les valeurs départementales en première approximation, faute de données plus précises disponibles).
- Certaines variables utilisées (temps de déplacement, distance à vol d'oiseau) présentent pour certaines lignes des valeurs aberrantes, ce qui nous conduit à supprimer un nombre important de lignes (près de 22% du fichier initial).

Dans le modèle gravitaire théorique au sein duquel nous développons notre réflexion, le nombre de déplacement de  $i$  à  $j$  est fonction du temps généralisé de  $i$  à  $j$ <sup>8</sup>, du nombre d'opportunités à destination (en  $j$ ) et de la demande de déplacements à l'origine (en  $i$ ).

$$N_{ij} = k \cdot E_j \cdot A_i \cdot e^{-\alpha \cdot T_{ij}}$$

Alpha caractérise la décroissance du Log par rapport au temps généralisé (fonction linéaire) :

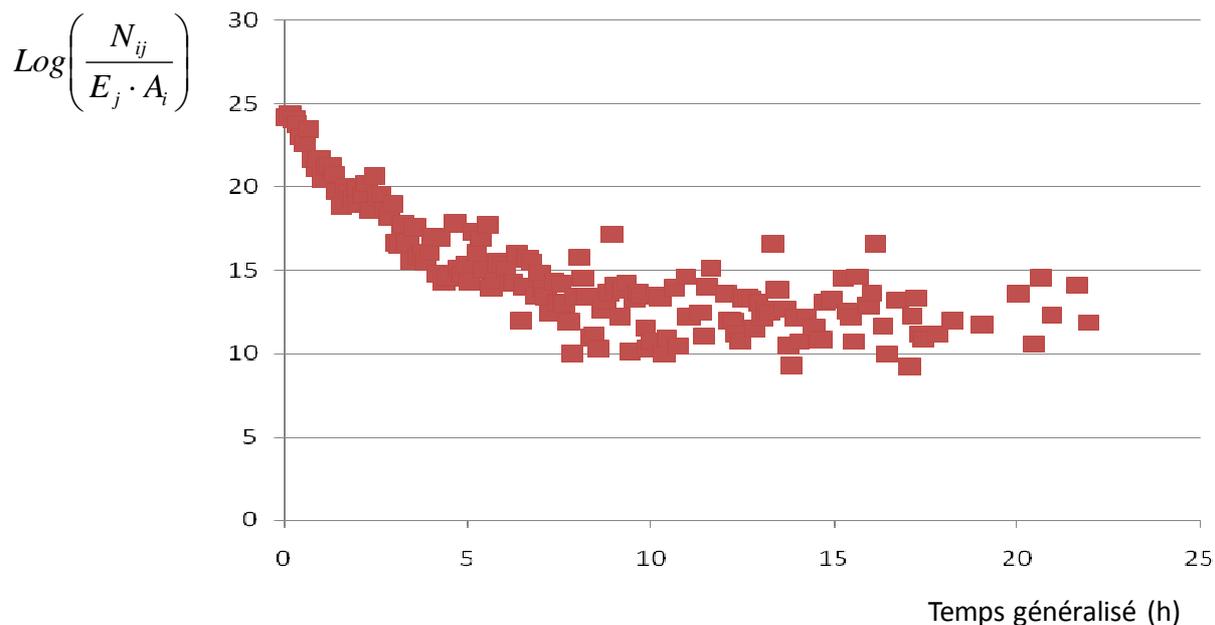
$$\text{Log} \left( \frac{N_{ij}}{E_j \cdot A_i} \right) = -\alpha \cdot T_{ij} + k'$$

Le graphique ci-après présente ce que nous obtenons en traçant le logarithme du rapport  $\frac{N_{ij}}{E_j \cdot A_i}$  (avec  $E_j$  et  $A_i$  exprimés en millions d'emplois et d'actifs), en fonction du temps généralisé  $T_{ij}$  moyen entre l'origine et la destination (les données sont classées par pas de 0,1h) :

$$\text{Log} \left( \frac{N_{ij}}{E_j \cdot A_i} \right) = f(T_{ij})$$

---

<sup>8</sup> Le temps généralisé de  $i$  à  $j$  correspond au coût généralisé de  $i$  à  $j$  divisé par le salaire horaire moyen de l'actif considéré. Le coût généralisé prend en compte les éléments de temps et de coûts dépeusés pour le déplacement.



**Figure 6. Log (N<sub>ij</sub> / A<sub>i</sub>E<sub>j</sub>) en fonction du temps généralisé entre i et j. La pente caractérise le coefficient de croissance alpha.**

Le graphique est obtenu après calcul de l'ensemble des valeurs pour chaque paire (i,j) pour laquelle des déplacements ont été enquêtés. Une paire (i,j) représente une origine-destination du département i au département j. A<sub>i</sub> représente le nombre d'actifs (en millions) dans le département i et E<sub>j</sub> le nombre d'emplois dans le département j.

Nous n'obtenons pas la droite théorique que nous devrions obtenir avec un coefficient alpha constant. Néanmoins, la décroissance initiale de la courbe correspond à peu près au coefficient 4. Pour les déplacements à plus longue distance, le coefficient de décroissance semble diminuer progressivement (l'asymptote est quasi-nulle pour les déplacements à très longue distance).

Nous avons donc recherché une formulation qui prenne comme hypothèses :

- Une valeur de alpha = 4 pour les déplacements à courte distance ;
- Une décroissance du coefficient alpha qui permette de retrouver les déplacements à longue distance.

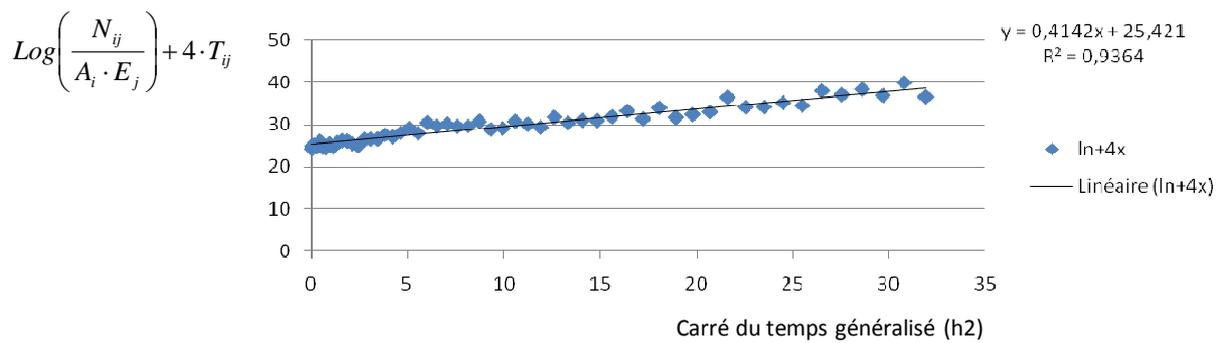
Nous avons recherché une formulation du type :

$$\text{Log} \left( \frac{N_{ij}}{E_j \cdot A_i} \right) = -(\alpha_0 - \alpha_1 \cdot T_{ij}) \cdot T_{ij} + k' \text{ soit}$$

$$\text{Log} \left( \frac{N_{ij}}{E_j \cdot A_i} \right) + \alpha_0 \cdot T_{ij} = \alpha_1 \cdot T_{ij}^2 + k'$$

Le graphique suivant représente  $y = \text{Log} \left( \frac{N_{ij}}{A_i \cdot E_j} \right) + 4 \cdot T_{ij}$  en fonction de  $x = T_{ij}^2$ ,

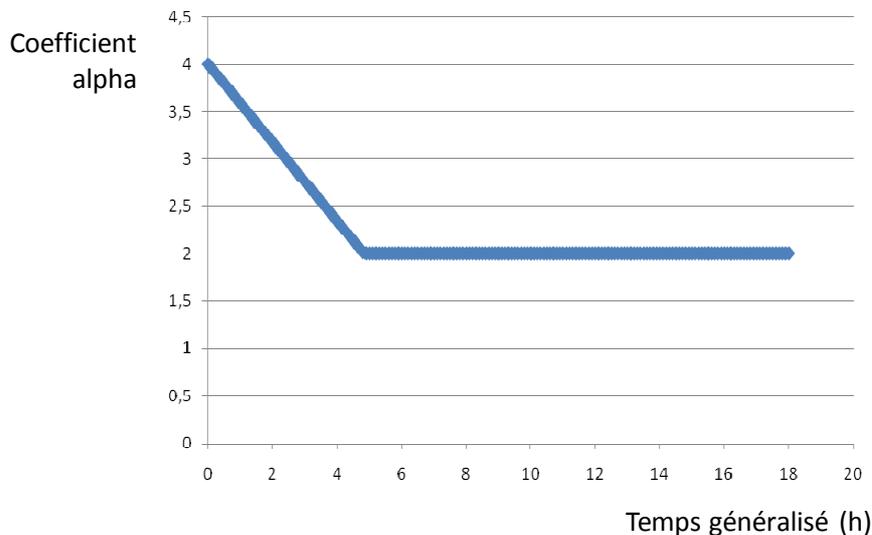
de manière à obtenir la valeur du coefficient  $\alpha_1$  en fixant  $\alpha_0 = 4$



**Figure 7. (Log (Nij / Ai.Ej) + 4.Tij ) en fonction du carré du temps généralisé entre i et j. La pente caractérise le coefficient de croissance alpha.**

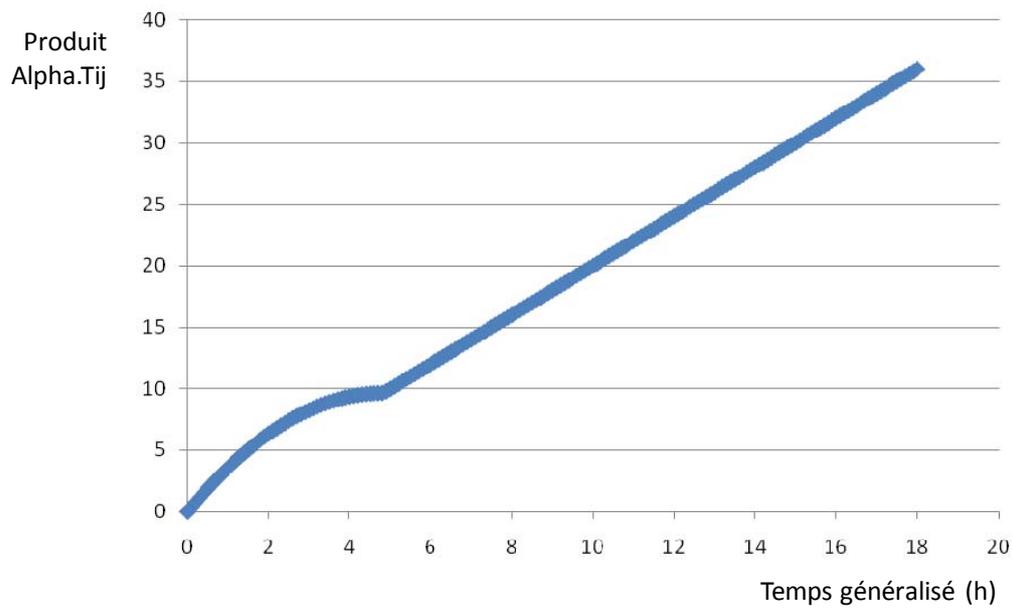
La formulation  $\alpha = 4 - 0,4142 T_{ij}$  donne une régression très correcte ( $R^2$  supérieur à 0,9).

Nous proposons d'utiliser cette formule (bornée toutefois par  $\alpha = 2$  pour les déplacements de longue distance de manière à préserver la décroissance de la fonction  $\exp(-\alpha \cdot t)$ ) pour les calculs. En effet, si on ne bornait pas la fonction parabolique (degré 2), on trouverait des déplacements à longue distance plus fréquent que des déplacements à courte distance. En utilisant la fonction bornée, on obtient les valeurs d'alpha suivantes :



**Figure 8. Valeur de alpha modélisé en fonction du temps généralisé.**

Ce qui donne un produit  $\alpha \times T_{ij}$  croissant :



**Figure 9. Produit  $\alpha \cdot T_{ij}$  qui entre dans la partie exponentielle du logsomme.**

Et un alpha pondéré (calculé sur la distribution observée des déplacements) de 3,8389.

La suite des calculs sera effectuée en retenant pour alpha la formulation suivante :

$$\alpha = \max (4 - 0,4142 T_{ij} ; 2)$$

## 2.6. ESTIMATION DES GAINS DE PERFORMANCES NATURELLES

Les performances naturelles sont calculées de manière exhaustive suivant la même formulation que les performances économiques, en substituant les valeurs suivantes :

$$S_i = N_a \times C s_i \times \frac{6,16}{\alpha^\circ} \frac{\log\left(\sum_j E_j \times e^{-\alpha \times T_{ij}}\right)}{1 - \frac{\log\left(\sum_j E_j \times e^{-\alpha \times T_{ij}}\right)}{21,74}}$$

$E_j$  : on substitue aux emplois au lieu de travail à destination (zone  $j$ ), les surfaces naturelles accessibles dans la zone  $j$

Les surfaces naturelles prises en compte correspondent aux forêts et milieux semi-naturels, aux zones humides et aux côtes (valorisées par le produit : linéaire km de côtes x 200 m). Ces surfaces sont pondérées à partir des coefficients définis dans l'instruction cadre :

- Espaces aquatiques : 9,2048
- Espaces agricoles : 1,1395
- Espaces forestiers : 0,1794

$N_a$  : aux 964 déplacements tous motifs économiques, on substitue les 220 déplacements pour motif loisirs.

Pour alpha, on utilise un alpha moyen de 5,6048 et la formule suivante :

$$\alpha = \max(5,84 - 0,6047 T_{ij}; 2,92)$$

obtenue en appliquant une règle de 3 entre alpha économique = 6 et alpha naturel = 8,76 (valeurs données par Jean Poulit dans l'annexe II de l'instruction cadre) :

**Tableau 3. Estimation du alpha "performances naturelles" à partir du alpha "performances économiques" par proportionnalité (ratio constant de 8,76/6=1,46).**

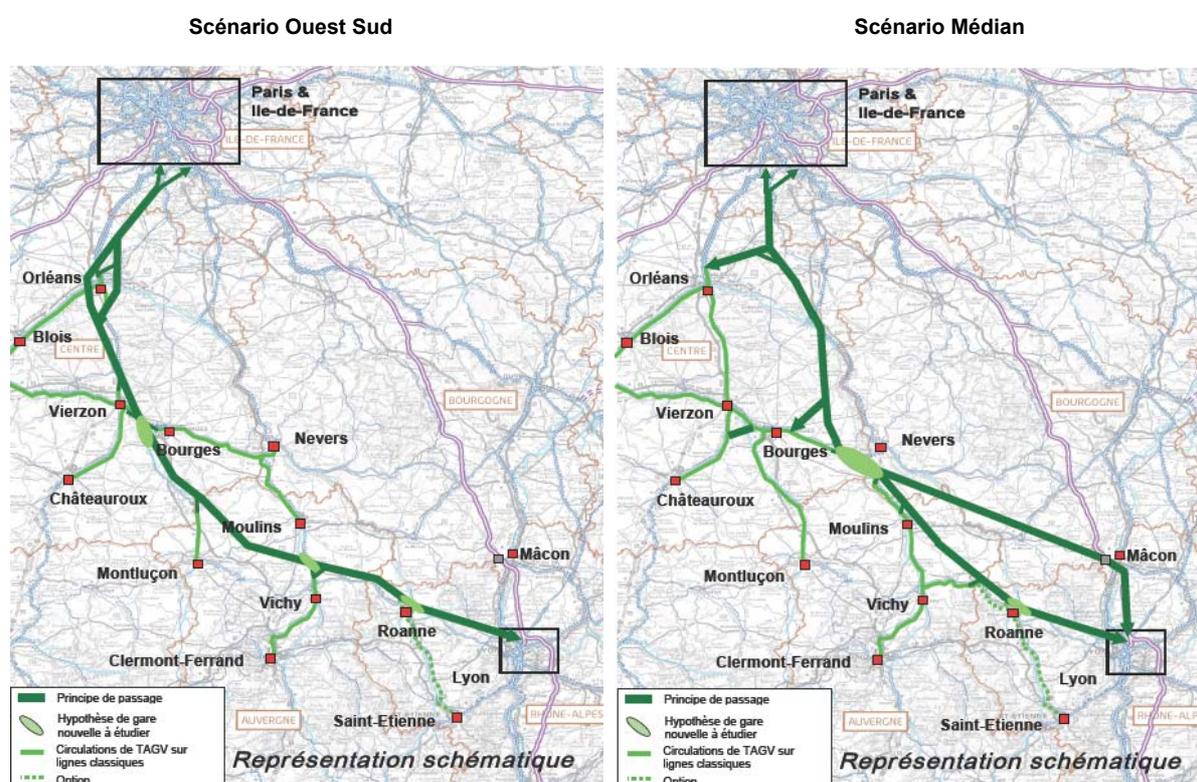
	Valeur théorique (temps)	Valeur théorique (temps généralisé) Valeur pour $T_{ij} = 0$	Paramètre de décroissance	Valeur plancher
Alpha des performances économiques	6	4	0,4241	2,00
Alpha des performances naturelles	8,76	5,84	0,6047	2,92

Les calculs réalisés dans le cadre de cette étude montrent que les performances naturelles représentent entre 8 et 10% des performances économiques, ce qui est du même ordre de grandeur que dans les autres études déjà menées.

### 3. RESULTATS

Nous présentons dans cette section l'ensemble des résultats obtenus :

- Pour les (gains de) performances économiques et naturelles ;
- Pour chacun des scénarios : Référence, Ouest-Sud, Médian Mâcon, Médian Roanne ;
- Avec la dépendance du Co à l'accessibilité moyenne (régression calée sur les données 2008 sur un Co moyen) ;
- En prenant en compte une segmentation des actifs en cinq classes de revenu (1<sup>er</sup> décile, 2<sup>ème</sup> décile, 3<sup>ème</sup> décile, 30% suivants, 40% aux revenus les plus faibles) ;
- En prenant en compte la décroissance du alpha en fonction de l'éloignement ;
- Avec les Tij généralisés calculés selon la méthode du minimum d'une part, et d'autre part en utilisant la pondération entre les différents modes.



Les pages suivantes présentent ainsi successivement :

- 1/ Le scénario de référence : performances économiques et naturelles chiffrées sur la situation de référence 2025
- 2/ Le scénario Ouest-Sud : gains de performances économiques et naturelles chiffrées sur la situation de référence 2025
- 3/ Le scénario Médian variante Roanne : gains de performances économiques et naturelles chiffrées sur la situation de référence 2025
- 4/ Le scénario Médian variante Mâcon : gains de performances économiques et naturelles chiffrées sur la situation de référence 2025
- 5/ Une synthèse comparative des résultats des scénarios

Pour chaque scénario sont présentés les résultats sur :

- La performance économique par actif (méthode du coût minimum)
- La performance économique par canton (méthode du coût minimum)
- La performance économique par actif (méthode du coût pondéré)
- La performance économique par canton (méthode du coût pondéré)
- La performance naturelle par actif (méthode du coût minimum)
- La performance naturelle par canton (méthode du coût minimum)
- La performance naturelle par actif (méthode du coût pondéré)
- La performance naturelle par canton (méthode du coût pondéré)
- Et un tableau de synthèse.

Les résultats sont présentés en valeurs absolues pour la situation de référence et en différentiel à la situation de référence pour chacun des scénarios étudiés.

Chaque page présentant les résultats relatifs à la performance par actif donne :

- Les cartes de performances (situation de référence) ou de gains de performance (scénarios) ;
- Les valeurs moyennes pour 12 villes de la région Grand Centre Auvergne ;
- La légende colorimétrique permettant de lire les cartes.

Chaque page présentant les résultats relatifs à la performance par canton donne :

- Les cartes de performances (situation de référence) ou de gains de performance (scénarios) ;
- La légende colorimétrique permettant de lire les cartes.

Les tableaux de synthèse restituent les valeurs obtenues pour chaque scénario.

# Référence

# Performance Economique par Actif (Référence Méthode: Minimum)

## Référence

Ville	Utilité nette moyenne / Actif (€)
Orléans	35684.65
Blois	31675.81
Vierzon	26669.12
Bourges	32205.01
Châteauroux	29961.44
Nevers	29394.73
Moulins	27477.42
Montluçon	27364.86
Vichy	28856.31
Clermont	34384.69
Roanne	28294.28
Mâcon	29772.76

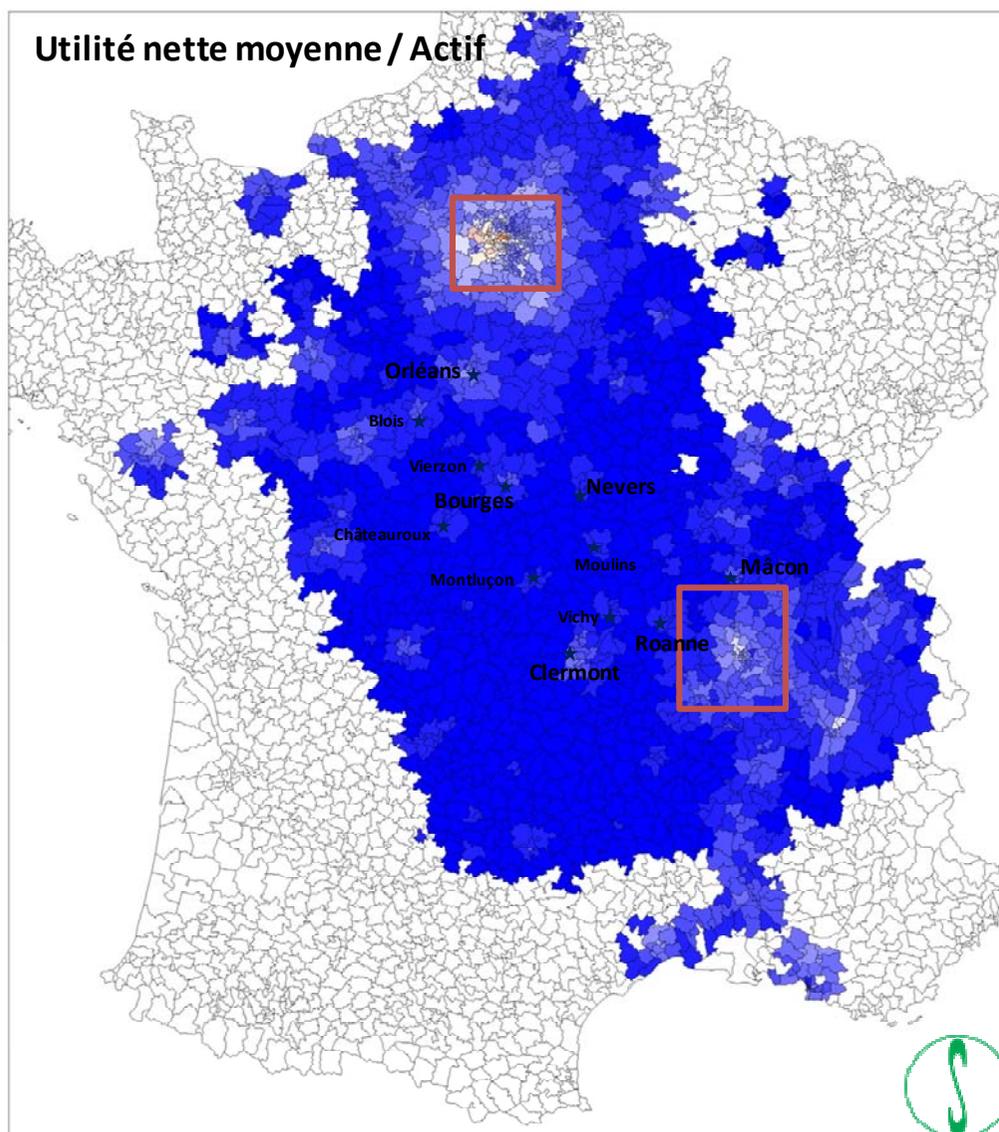
PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON



## PE\_MIN\_REF par REFMinAT

110 000 à 125 000	(2)
100 000 à 110 000	(1)
90 000 à 100 000	(2)
80 000 à 90 000	(4)
70 000 à 80 000	(16)
60 000 à 70 000	(25)
50 000 à 60 000	(37)
45 000 à 50 000	(48)
40 000 à 45 000	(97)
35 000 à 40 000	(158)
30 000 à 35 000	(347)
25 000 à 30 000	(552)
0 à 25 000	(571)

## Utilité nette moyenne / Actif



# Performance Economique par Canton (Référence Méthode: Minimum)

**Performance Economique**  
Valeur Absolue = 714 Mds€



PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON

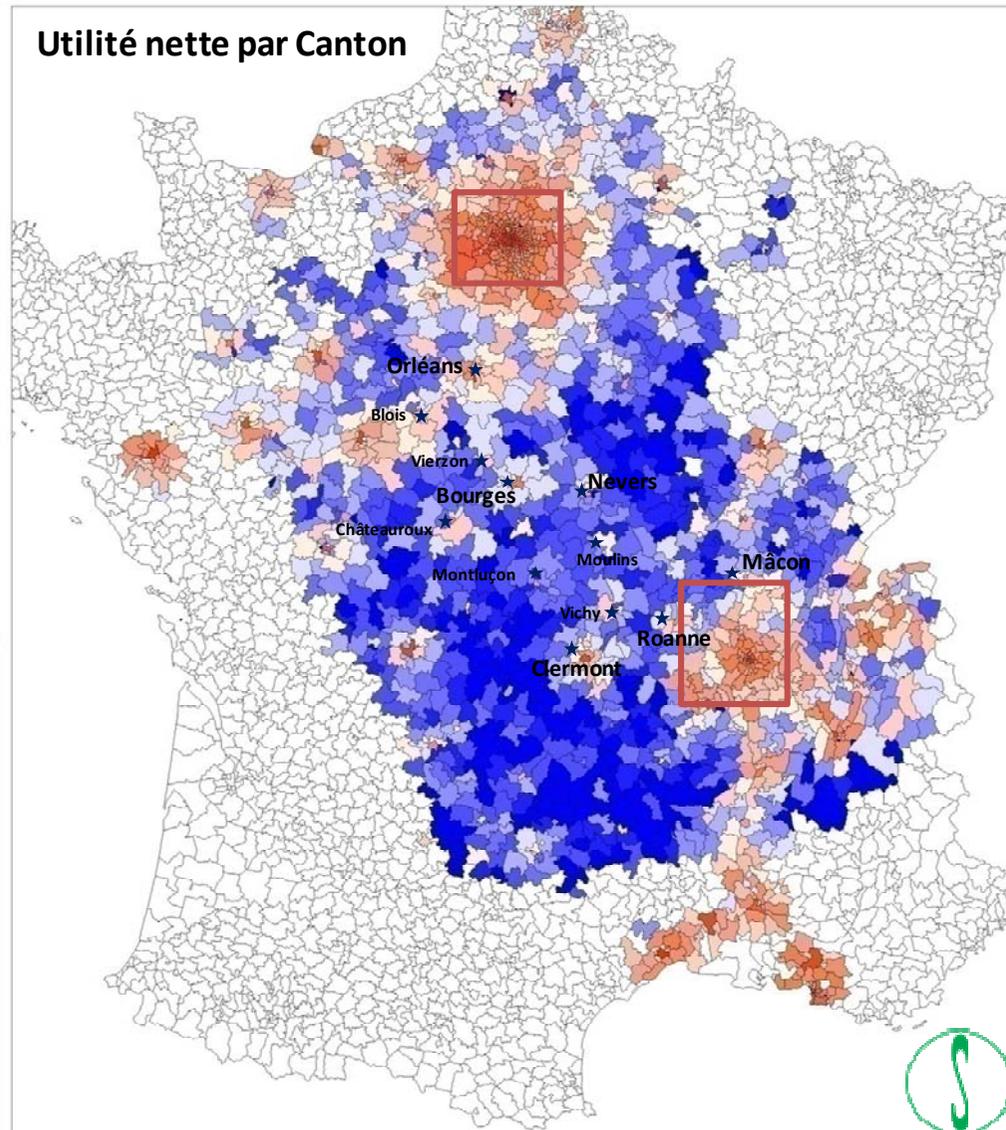


RÉSEAU FERRÉ DE FRANCE

PE\_MIN\_REF par REFMinCT

1320M à 3705M	(13)
433M à 1320M	(38)
247M à 433M	(46)
163M à 247M	(103)
100M à 163M	(146)
74M à 100M	(117)
65M à 74M	(119)
51M à 65M	(144)
39M à 51M	(136)
30M à 39M	(181)
23M à 30M	(146)
18M à 23M	(114)
14M à 18M	(150)
11M à 14M	(151)
8M à 11M	(92)
0 à 8M	(164)

Utilité nette par Canton



# Performance Economique par Actif (Référence Méthode: Pondérée)

## Référence

Ville	Utilité nette moyenne / Actif (€)
Orléans	35638.86
Blois	31639.88
Vierzon	26566.45
Bourges	32164.56
Châteauroux	29931.95
Nevers	29318.02
Moulins	27408.84
Montluçon	27339.31
Vichy	28740.46
Clermont	34375.91
Roanne	28192.37
Mâcon	29758.27

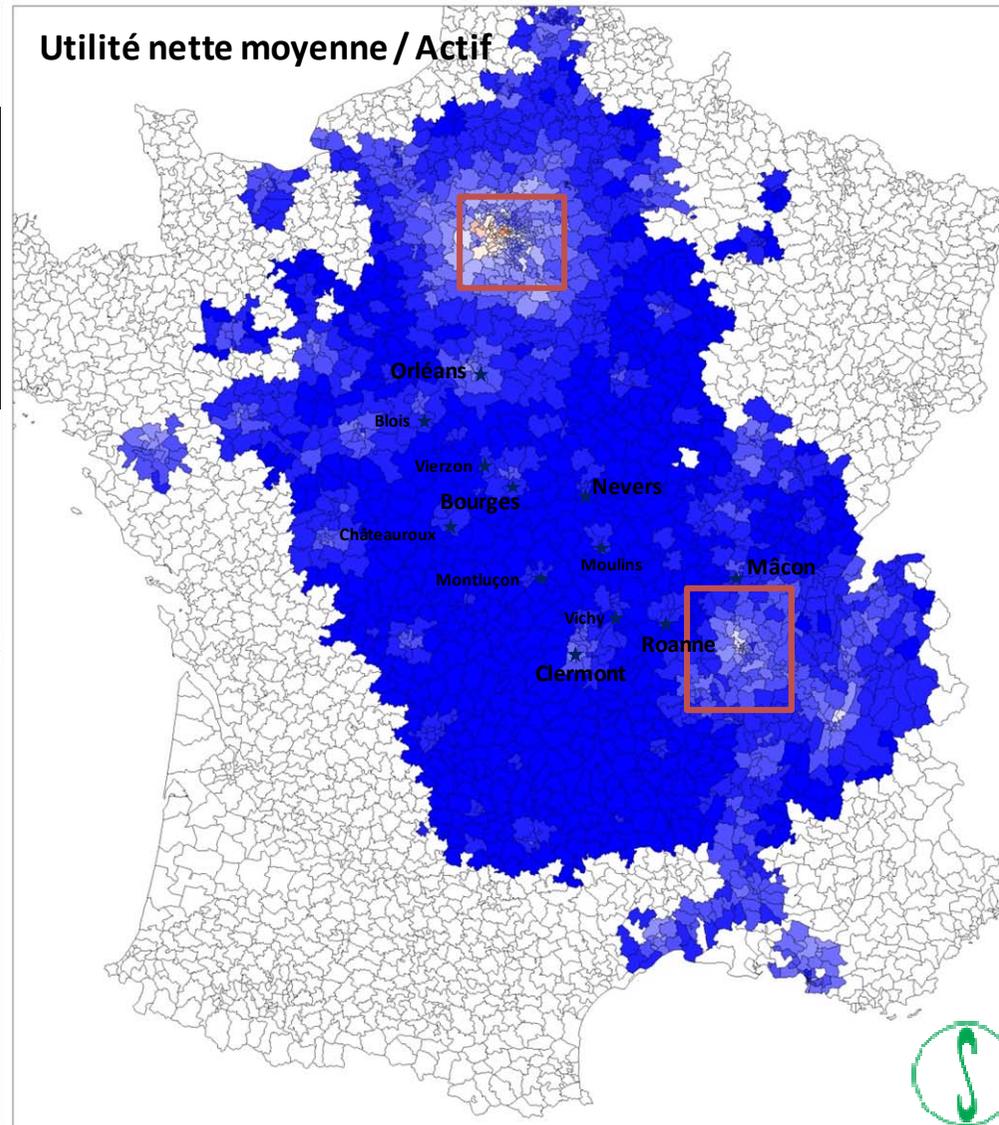
PARIS ORLÉANS LGV  
CLERMONT-FERRAND LYON



## PE\_PON\_REF par REFPonAT

250 000 à 1 000 000	(0)
150 000 à 250 000	(0)
125 000 à 150 000	(0)
110 000 à 125 000	(2)
100 000 à 110 000	(1)
90 000 à 100 000	(2)
80 000 à 90 000	(4)
70 000 à 80 000	(16)
60 000 à 70 000	(25)
50 000 à 60 000	(37)
45 000 à 50 000	(49)
40 000 à 45 000	(96)
35 000 à 40 000	(159)
30 000 à 35 000	(346)
25 000 à 30 000	(541)
0 à 25 000	(582)

## Utilité nette moyenne / Actif



# Performance Economique par Canton (Référence Méthode: Pondérée)

**Performance Economique**  
Valeur Absolue = 713 Mds€



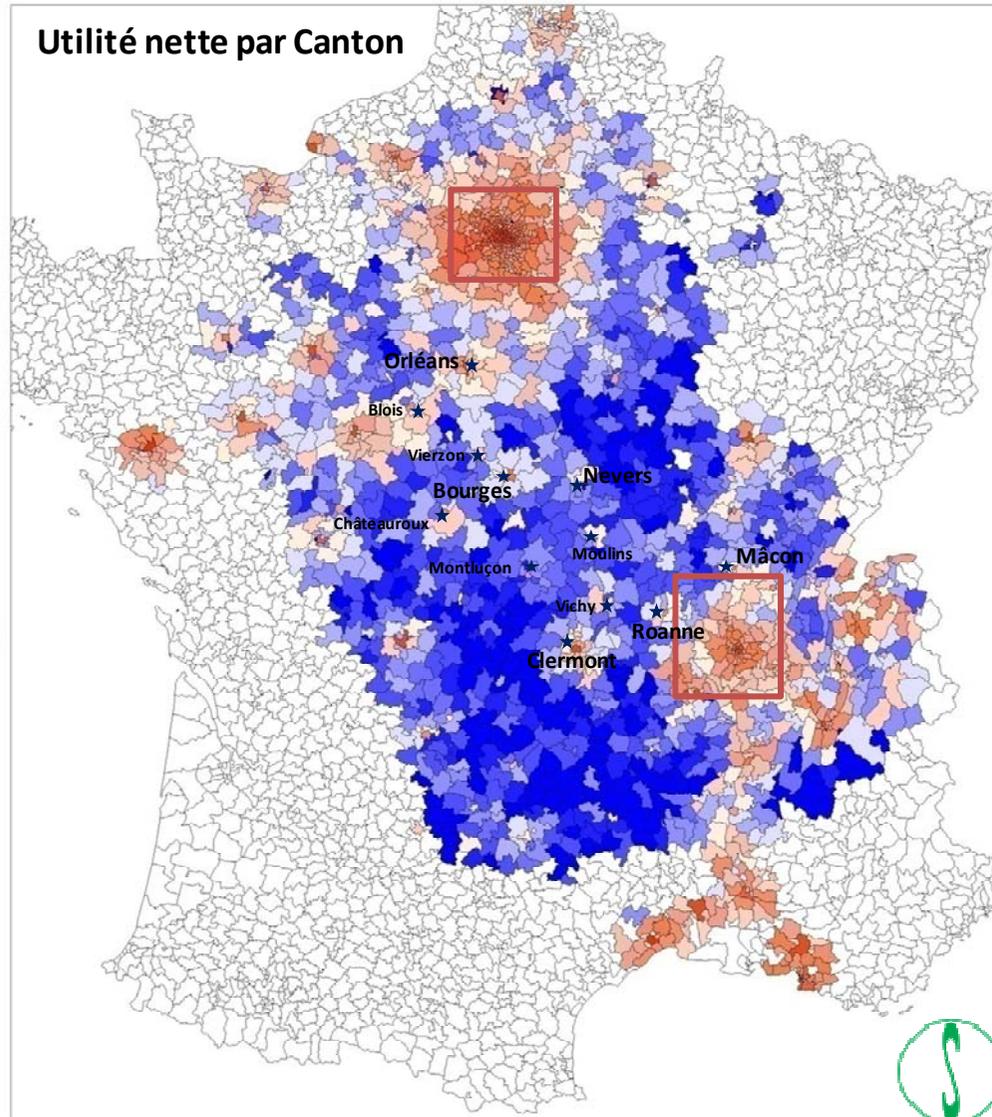
PARIS ORLÉANS LGV  
CLERMONT-FERRAND LYON



PE\_PON\_REF par REFPONCT

1320M à 3705M	(13)
433M à 1320M	(38)
247M à 433M	(46)
163M à 247M	(104)
100M à 163M	(144)
74M à 100M	(117)
65M à 74M	(120)
51M à 65M	(142)
39M à 51M	(136)
30M à 39M	(178)
23M à 30M	(149)
18M à 23M	(118)
14M à 18M	(145)
11M à 14M	(152)
8M à 11M	(93)
0 à 8M	(165)

Utilité nette par Canton



# Performance Naturelle par Actif (Référence Méthode: Minimum)

## Référence

Ville	Utilité nette moyenne / Actif (€)
Orléans	3598.53
Blois	3745.26
Vierzon	3997.70
Bourges	4129.95
Châteauroux	4138.47
Nevers	3830.89
Moulins	4166.35
Montluçon	3939.95
Vichy	4108.24
Clermont	3483.87
Roanne	3713.03
Mâcon	3680.04

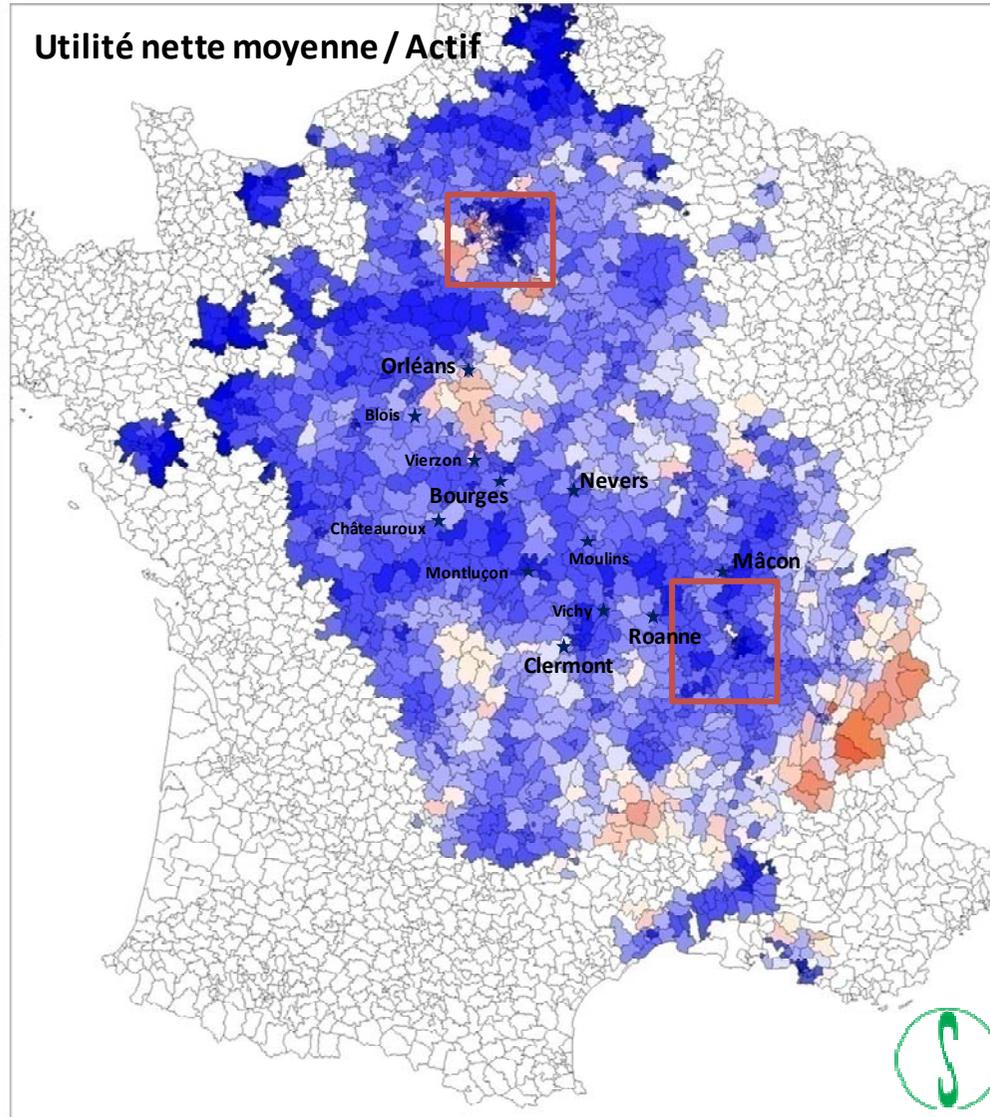
PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON



PE\_MIN\_REF par REFMinAT

20 000 à 100 000	(0)
10 000 à 20 000	(0)
6 000 à 10 000	(3)
5 750 à 6 000	(4)
5 500 à 5 750	(6)
5 250 à 5 500	(10)
5 000 à 5 250	(16)
4 750 à 5 000	(32)
4 500 à 4 750	(57)
4 250 à 4 500	(109)
4 000 à 4 250	(165)
3 750 à 4 000	(255)
3 500 à 3 750	(288)
3 000 à 3 500	(488)
2 500 à 3 000	(261)
0 à 2 500	(166)

## Utilité nette moyenne / Actif



# Performance Naturelle par Canton (Référence Méthode: Minimum)

**Performance Naturelle**  
Valeur Absolue = 76 Mds€



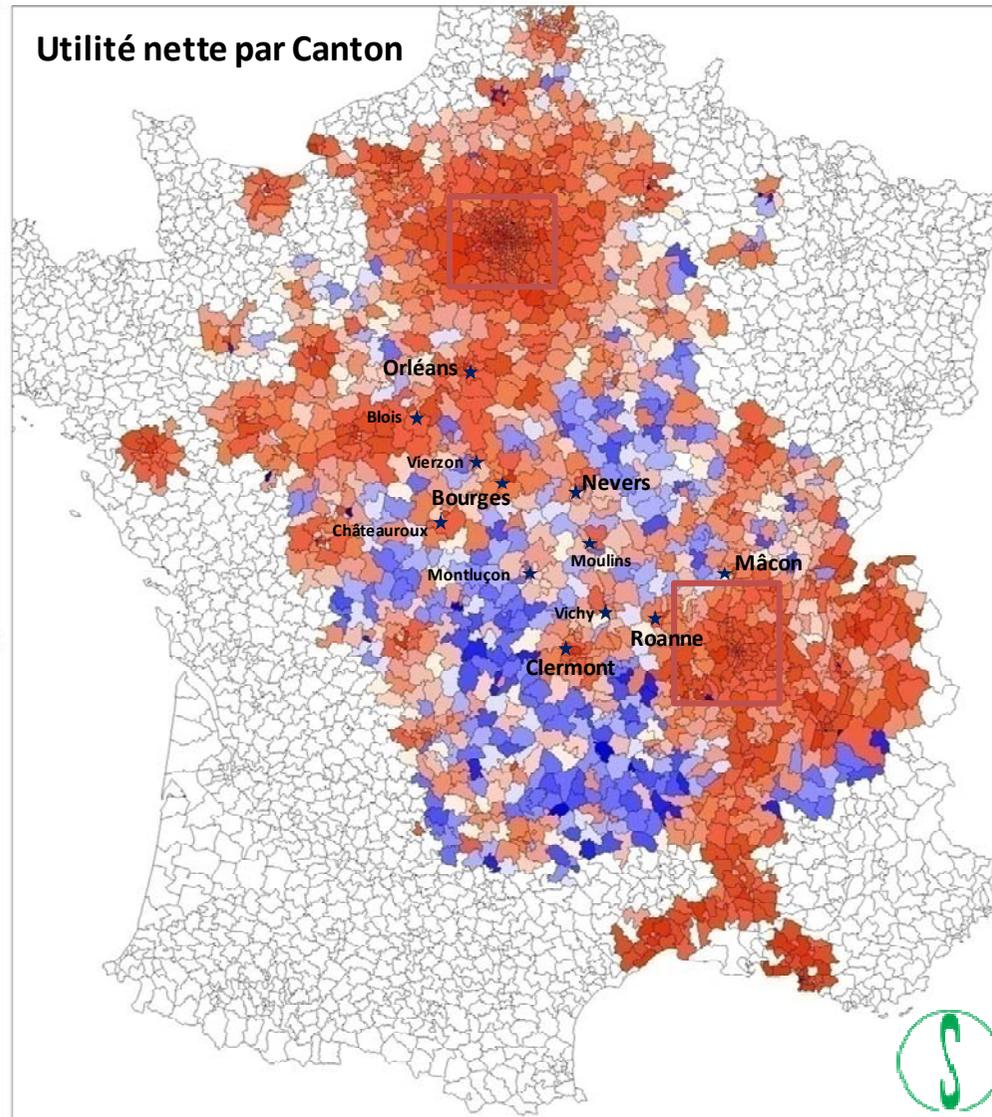
PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON



PE\_MIN\_REF par REFMinCT

86M à 500M	(96)
42M à 86M	(326)
26M à 42M	(311)
19M à 26M	(197)
15M à 19M	(178)
12M à 15M	(141)
10M à 12M	(122)
9M à 10M	(57)
8M à 9M	(67)
7M à 8M	(63)
6M à 7M	(79)
5M à 6M	(70)
4M à 5M	(70)
3M à 4M	(45)
2M à 3M	(24)
0 à 2M	(14)

**Utilité nette par Canton**



# Performance Naturelle par Actif (Référence Méthode: Pondérée)

## Référence

Ville	Utilité nette moyenne / Actif (€)
Orléans	3596.58
Blois	3740.69
Vierzon	3987.03
Bourges	4125.83
Châteauroux	4133.14
Nevers	3807.79
Moulins	4137.77
Montluçon	3931.34
Vichy	4088.94
Clermont	3473.80
Roanne	3698.10
Mâcon	3678.96

PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON

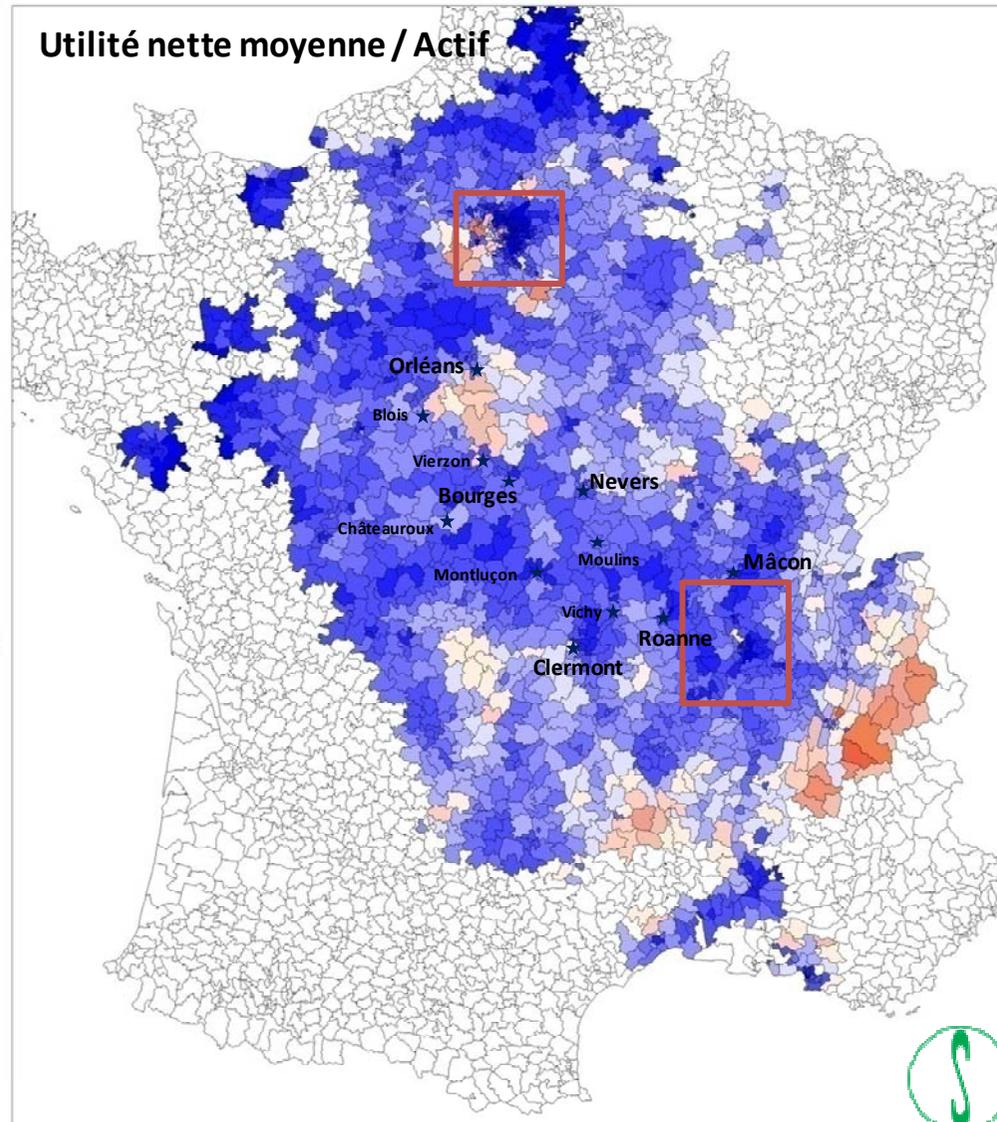


RÉSEAU FERRÉ DE FRANCE

PE\_PON\_REF par REFPonAT

6 000 à 10 000	(3)
5 750 à 6 000	(4)
5 500 à 5 750	(6)
5 250 à 5 500	(10)
5 000 à 5 250	(16)
4 750 à 5 000	(32)
4 500 à 4 750	(57)
4 250 à 4 500	(105)
4 000 à 4 250	(167)
3 750 à 4 000	(249)
3 500 à 3 750	(291)
3 000 à 3 500	(487)
2 500 à 3 000	(267)
0 à 2 500	(166)

## Utilité nette moyenne / Actif



# Performance Naturelle par Canton (Référence Méthode: Pondérée)

**Performance Naturelle**  
Valeur Absolue = 76 Mds€



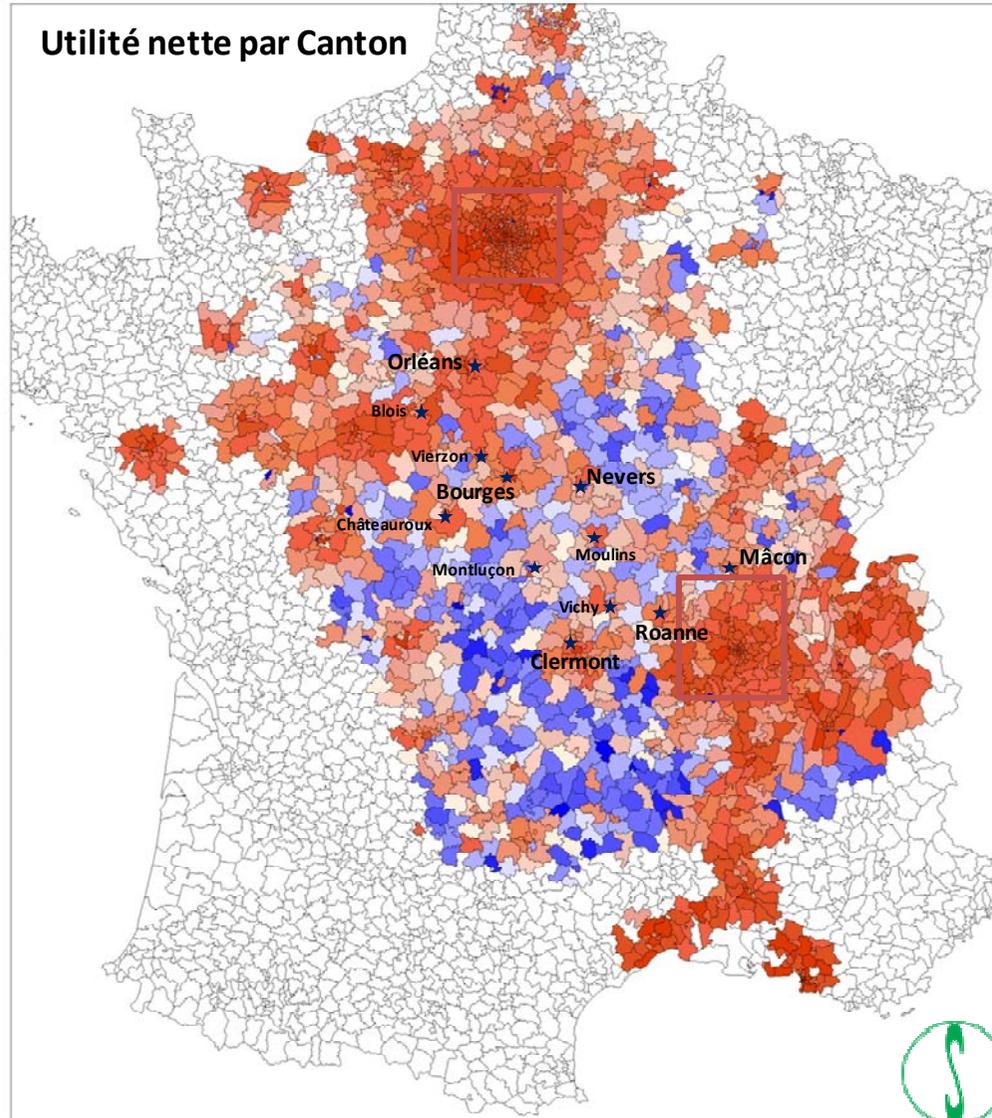
PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON



PE\_PON\_REF par REFPonCT

86M à 500M	(95)
42M à 86M	(326)
26M à 42M	(315)
19M à 26M	(191)
15M à 19M	(177)
12M à 15M	(147)
10M à 12M	(121)
9M à 10M	(59)
8M à 9M	(67)
7M à 8M	(61)
6M à 7M	(77)
5M à 6M	(70)
4M à 5M	(71)
3M à 4M	(46)
2M à 3M	(23)
0 à 2M	(14)

Utilité nette par Canton



# Scénario Ouest-Sud

# Gain de Performance Economique par Actif (Ouest-Sud Méthode: Minimum)

## Ouest-Sud

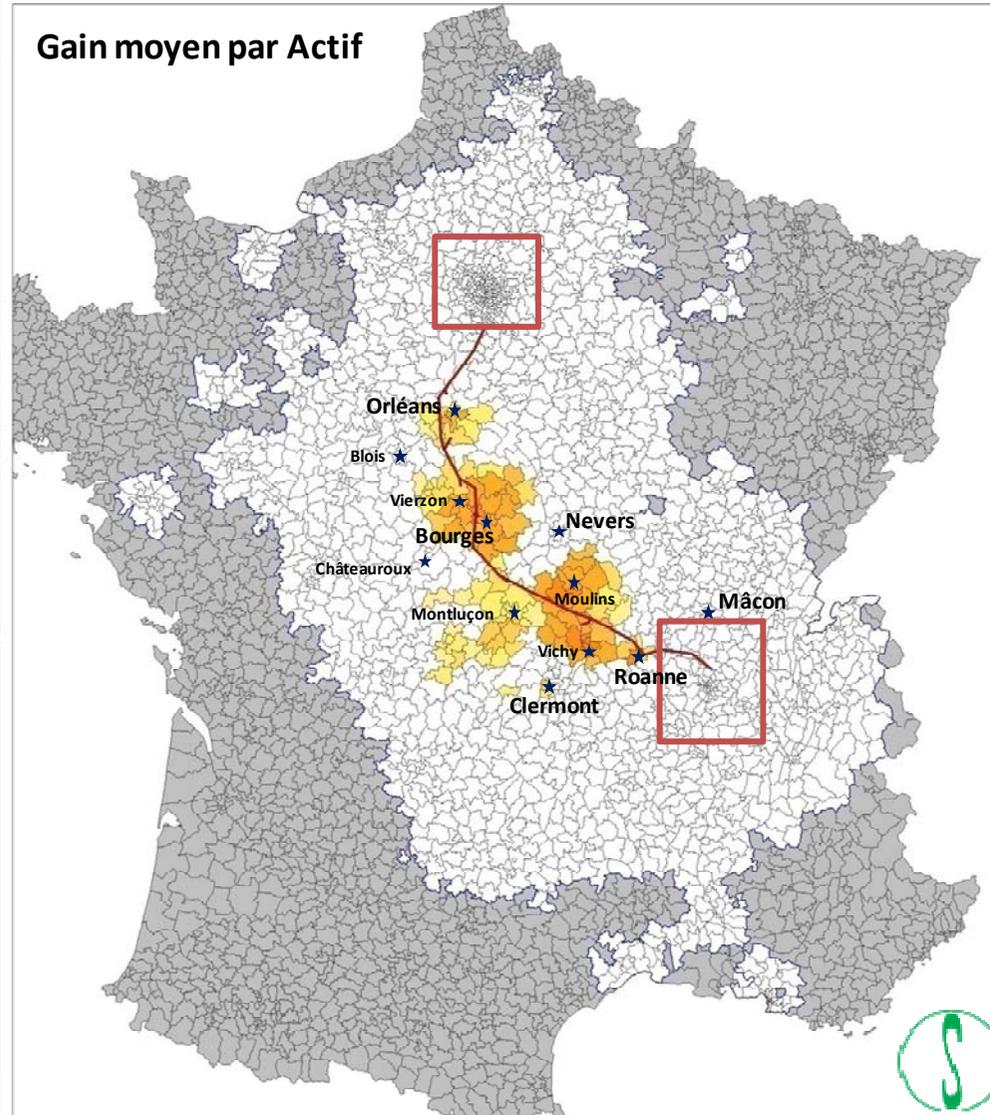
Ville	Gain moyen / Actif (€)
Orléans	53.26
Blois	8.94
Vierzon	89.16
Bourges	112.85
Châteauroux	19.16
Nevers	11.83
Moulins	198.47
Montluçon	26.58
Vichy	613.21
Clermont	9.33
Roanne	83.64
Mâcon	0.15



### PE\_MIN\_OS par DeltaOSMinAT

2 730 à 9 510	(0)
1 090 à 2 730	(0)
460 à 1 090	(1)
170 à 460	(9)
70 à 170	(31)
60 à 70	(8)
50 à 60	(9)
40 à 50	(14)
30 à 40	(22)
25 à 30	(15)
-25 à 25	(1751)
-120 à -25	(0)

## Gain moyen par Actif



# Gain de Performance Economique par Canton (Ouest-Sud Méthode: Minimum)

## Performance Economique

Gain Ouest-Sud = 82 M€



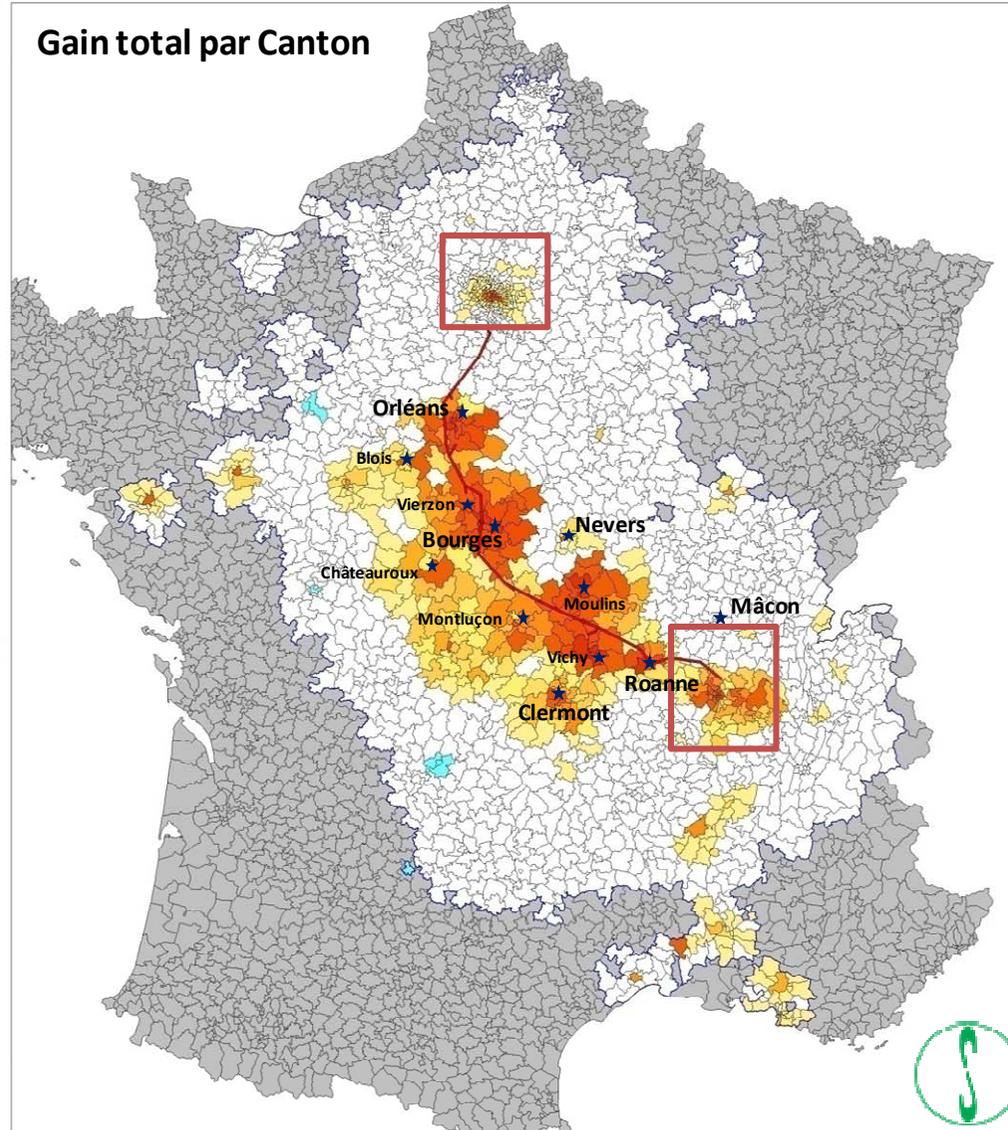
PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON



PE\_MIN\_OS par DeltaOSMinCT

1 050 000 à 10 000 000	(12)
320 000 à 1 050 000	(38)
150 000 à 320 000	(59)
90 000 à 150 000	(41)
70 000 à 90 000	(25)
60 000 à 70 000	(23)
50 000 à 60 000	(27)
40 000 à 50 000	(34)
30 000 à 40 000	(42)
10 000 à 30 000	(223)
-10 000 à 10 000	(1329)
-100 000 à -10 000	(7)

## Gain total par Canton



# Gain de Performance Economique par Actif (Ouest-Sud Méthode: Pondérée)

## Ouest-Sud

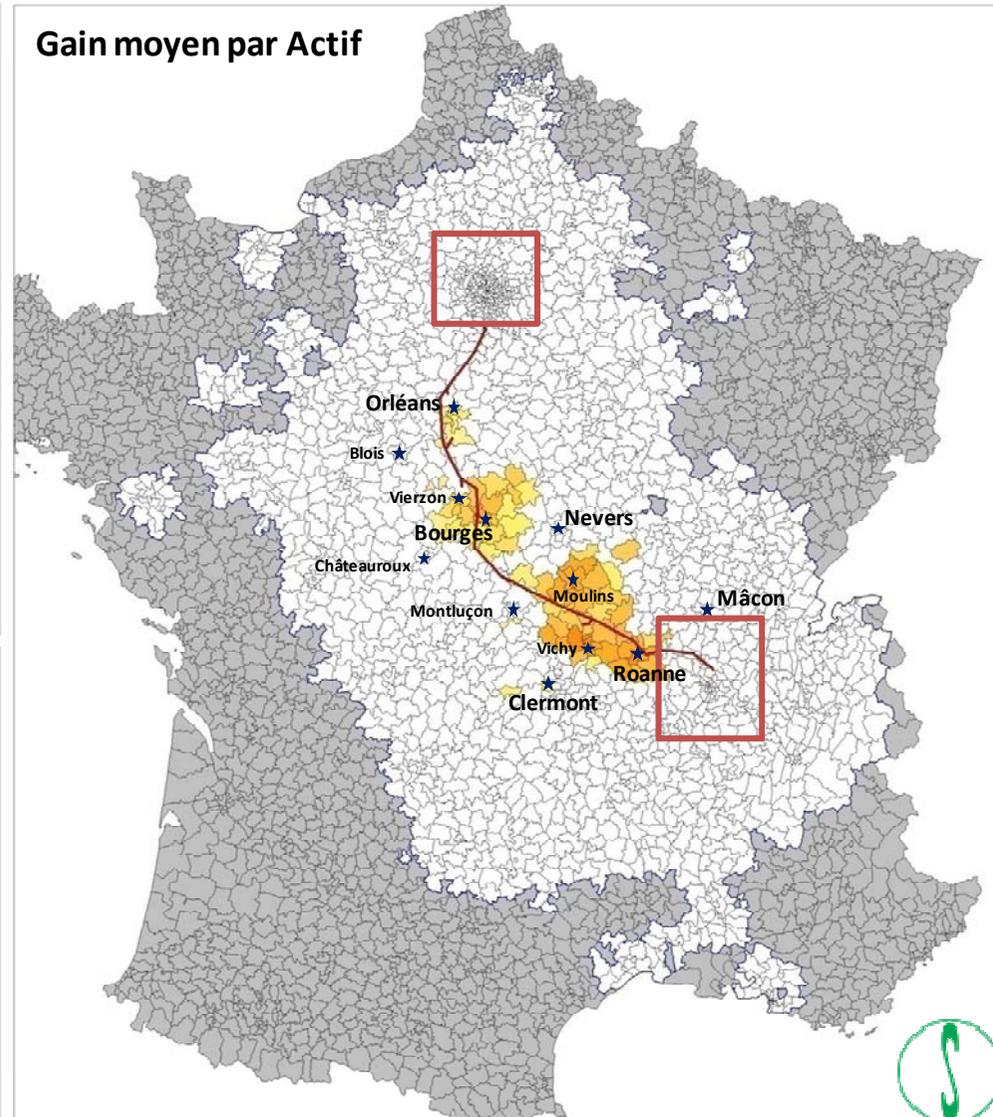
Ville	Gain moyen / Actif (€)
Orléans	30.67
Blois	4.71
Vierzon	45.14
Bourges	58.67
Châteauroux	10.39
Nevers	5.49
Moulins	98.30
Montluçon	14.90
Vichy	313.76
Clermont	6.73
Roanne	95.06
Mâcon	0.51



## PE\_PON\_OS par DeltaOSPonAT

2 730 à 9 510	(0)
1 090 à 2 730	(0)
460 à 1 090	(0)
170 à 460	(5)
70 à 170	(17)
60 à 70	(11)
50 à 60	(11)
40 à 50	(10)
30 à 40	(16)
25 à 30	(6)
-25 à 25	(1784)
-120 à -25	(0)

## Gain moyen par Actif



# Gain de Performance Economique par Canton (Ouest-Sud Méthode: Pondérée)

## Performance Economique

Gain Ouest-Sud = 54 M€



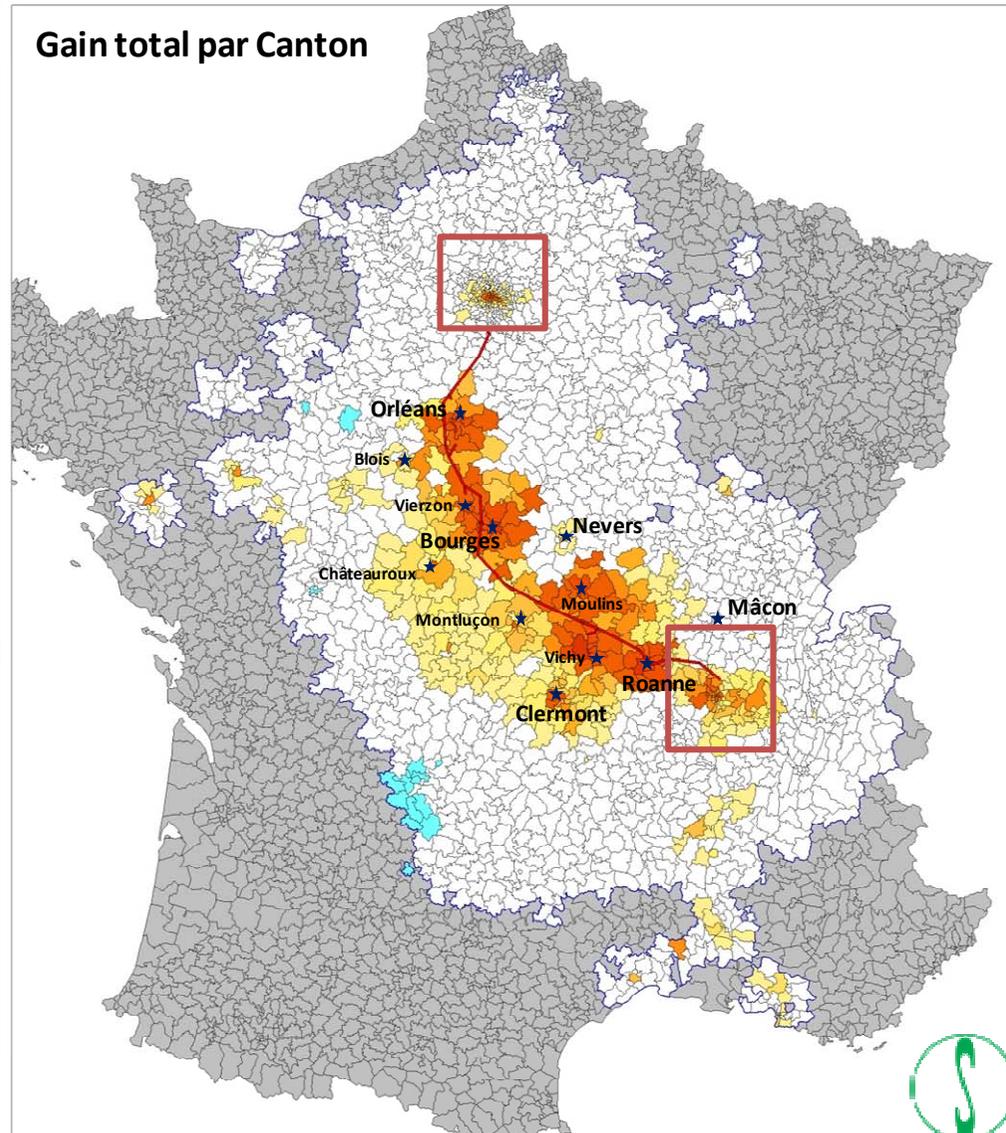
PARIS ORLÉANS LGV  
CLERMONT-FERRAND LYON



PE\_PON\_OS par DeltaOSPonCT

1 050 000 à 10 000 000	(6)
320 000 à 1 050 000	(23)
150 000 à 320 000	(54)
90 000 à 150 000	(42)
70 000 à 90 000	(21)
60 000 à 70 000	(23)
50 000 à 60 000	(13)
40 000 à 50 000	(26)
30 000 à 40 000	(44)
10 000 à 30 000	(201)
-10 000 à 10 000	(1392)
-100 000 à -10 000	(15)

## Gain total par Canton



# Gain de Performance Naturelle par Actif (Ouest-Sud Méthode: Minimum)

## Ouest-Sud

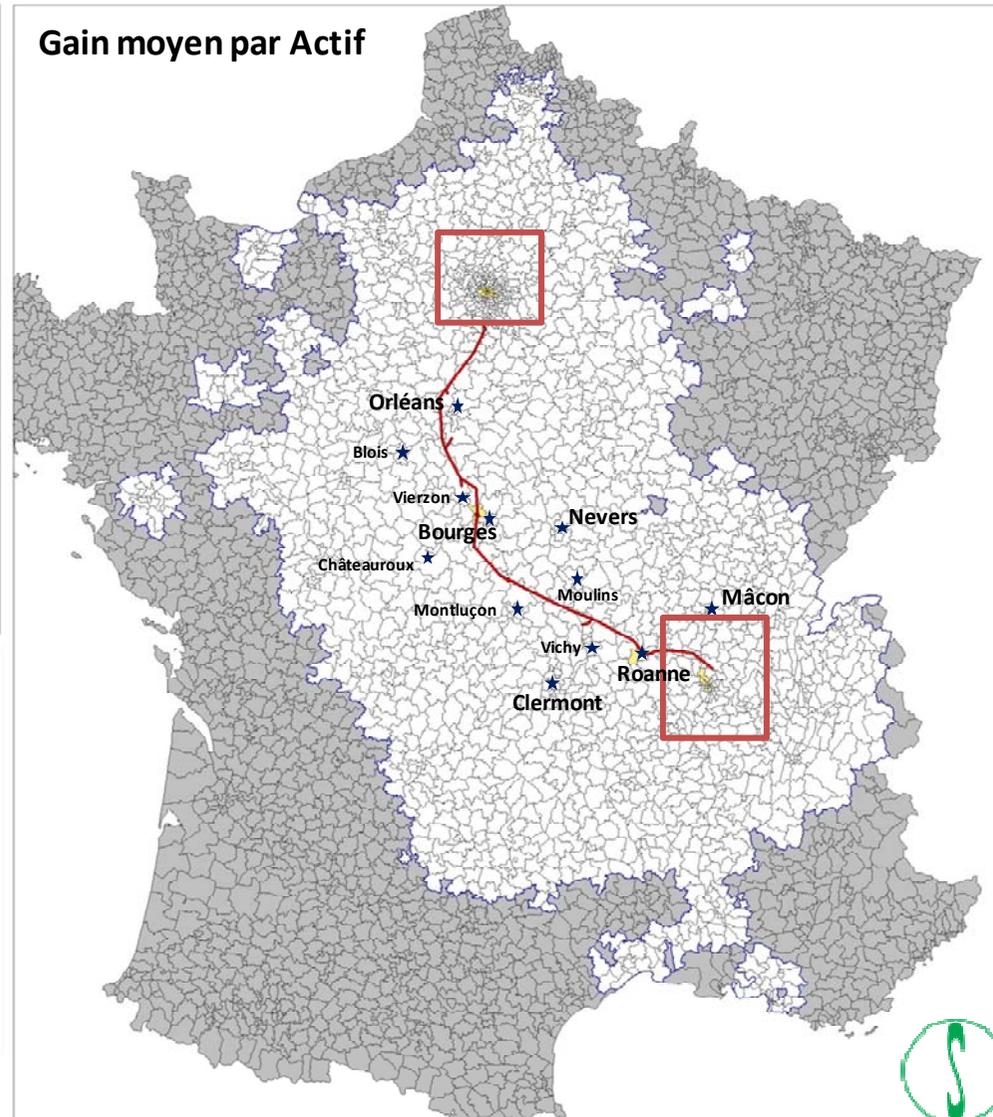
Ville	Gain moyen / Actif (€)
Orléans	0.06
Blois	-0.01
Vierzon	0.06
Bourges	0.60
Châteauroux	0.08
Nevers	1.25
Moulins	0.58
Montluçon	0.02
Vichy	3.99
Clermont	0.06
Roanne	0.94
Mâcon	0.00



## PE\_MIN\_OS par DeltaOSMinAT

100 à 500	(0)
90 à 100	(0)
80 à 90	(0)
70 à 80	(0)
60 à 70	(0)
50 à 60	(0)
40 à 50	(0)
30 à 40	(0)
20 à 30	(0)
1 à 20	(37)
-1 à 1	(1823)
-20 à -1	(0)

## Gain moyen par Actif



# Gain de Performance Naturelle par Canton (Ouest-Sud Méthode: Minimum)

## Performance Naturelle

Gain Ouest-Sud = 6 M€



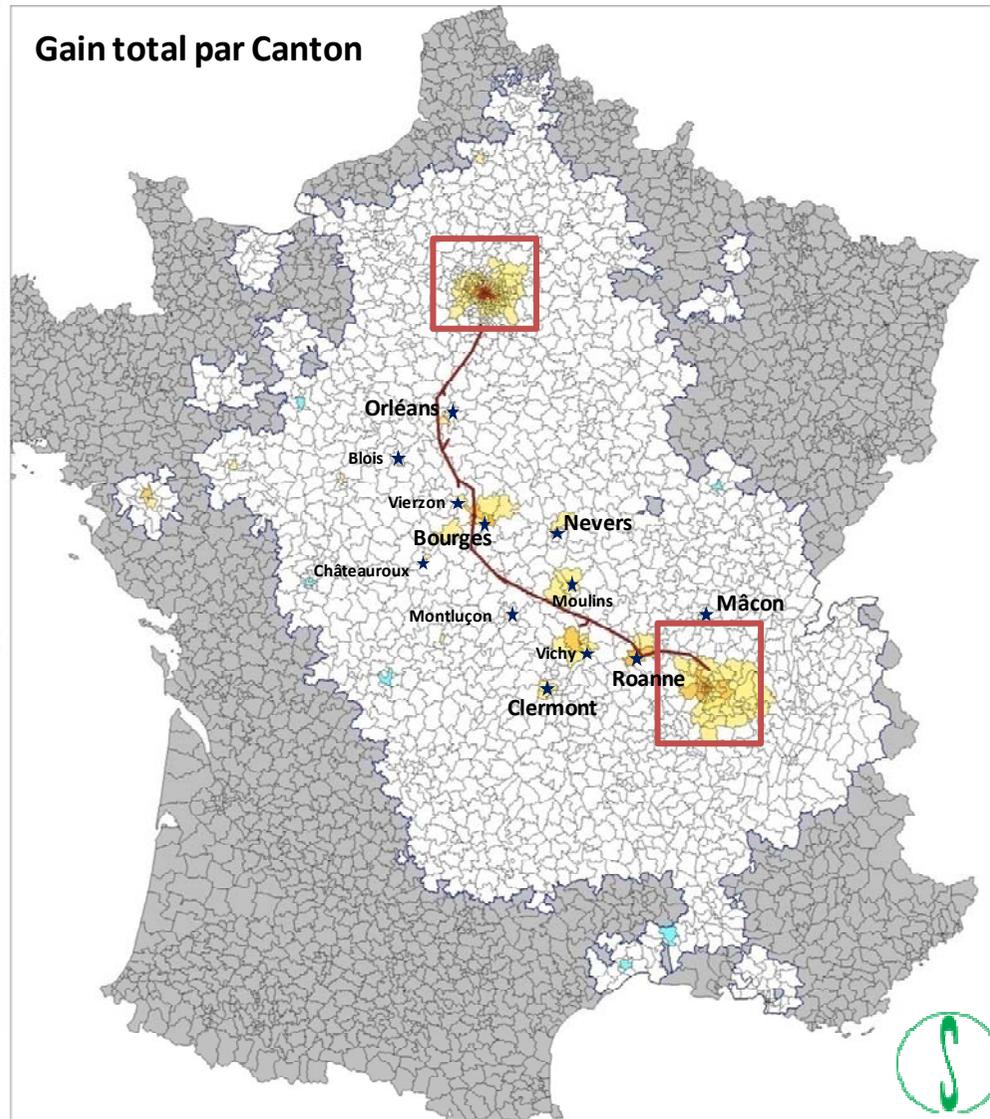
PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON



PE\_MIN\_OS par DeltaOSMinCT

200 000 à 500 000	(9)
150 000 à 200 000	(2)
100 000 à 150 000	(6)
50 000 à 100 000	(5)
25 000 à 50 000	(10)
10 000 à 25 000	(29)
5 000 à 10 000	(32)
4 000 à 5 000	(13)
3 000 à 4 000	(13)
250 à 3 000	(161)
-250 à 250	(1574)
-10 000 à -250	(6)

## Gain total par Canton



# Gain de Performance Naturelle par Actif (Ouest-Sud Méthode: Pondérée)

## Ouest-Sud

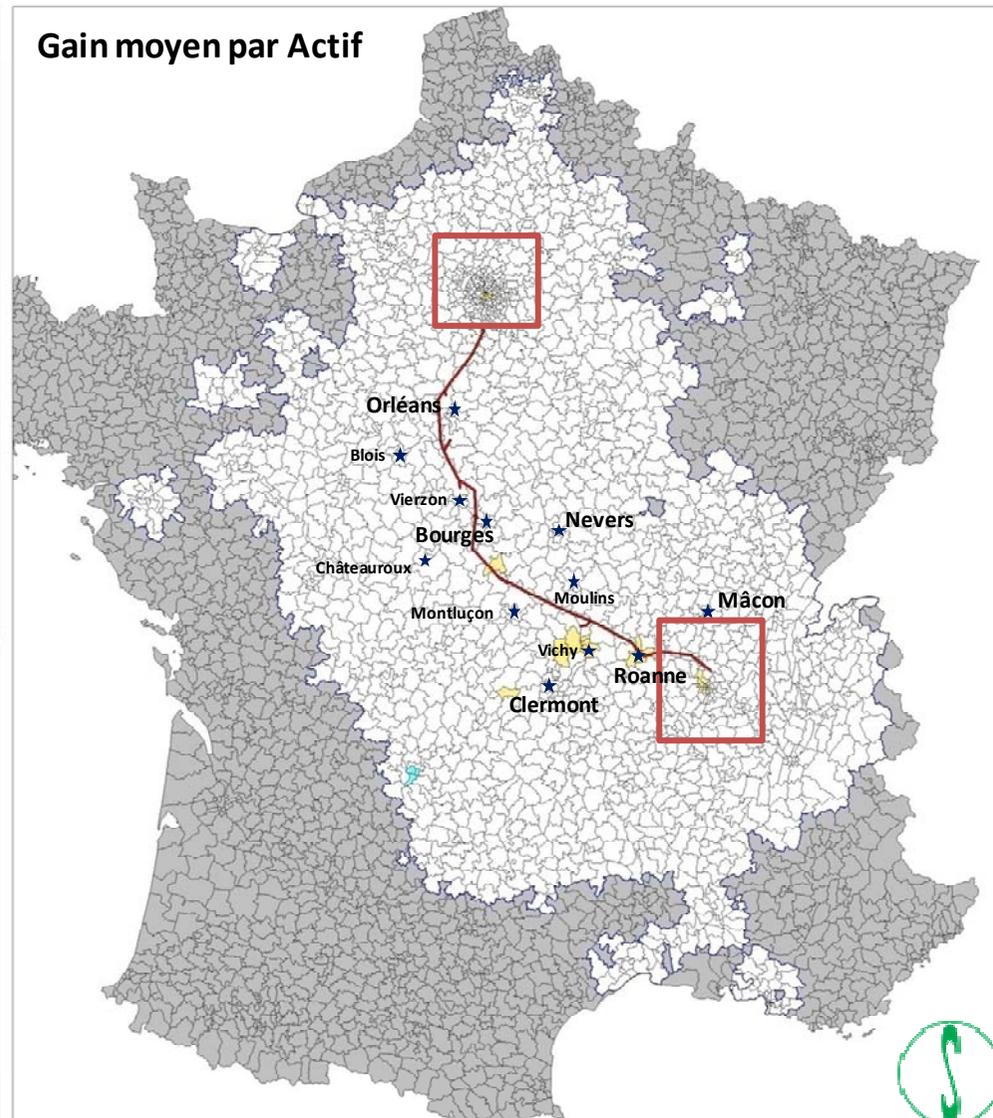
Ville	Gain moyen / Actif (€)
Orléans	-0.10
Blois	-0.09
Vierzon	0.21
Bourges	0.52
Châteauroux	0.09
Nevers	0.56
Moulins	0.49
Montluçon	-0.07
Vichy	4.04
Clermont	0.62
Roanne	1.62
Mâcon	0.07



## PE\_PON\_OS par DeltaOSPonAT

100 à 500	(0)
90 à 100	(0)
80 à 90	(0)
70 à 80	(0)
60 à 70	(0)
50 à 60	(0)
40 à 50	(0)
30 à 40	(0)
20 à 30	(0)
1 à 20	(38)
-1 à 1	(1819)
-20 à -1	(3)

## Gain moyen par Actif



# Gain de Performance Naturelle par Canton (Ouest-Sud Méthode: Pondérée)

## Performance Naturelle

Gain Ouest-Sud = 3 M€



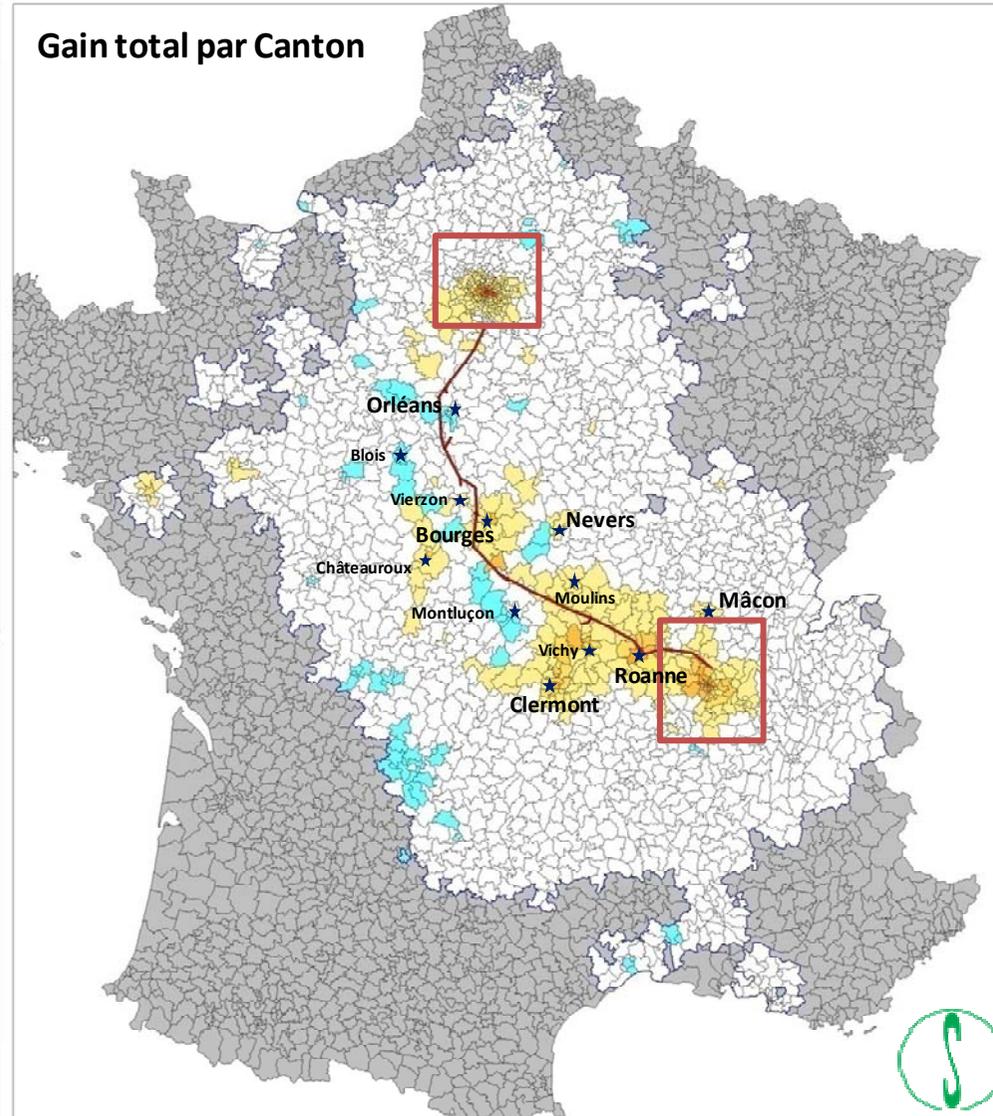
PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON



PE\_PON\_OS par DeltaOSPonCT

200 000 à 500 000	(0)
150 000 à 200 000	(1)
100 000 à 150 000	(5)
50 000 à 100 000	(9)
25 000 à 50 000	(13)
10 000 à 25 000	(26)
5 000 à 10 000	(32)
4 000 à 5 000	(19)
3 000 à 4 000	(20)
250 à 3 000	(265)
-250 à 250	(1395)
-10 000 à -250	(74)

## Gain total par Canton



# Scénario Médian Roanne

# Gain de Performance Economique par Actif (Médian Roanne Méthode: Minimum)

## Médian Roanne

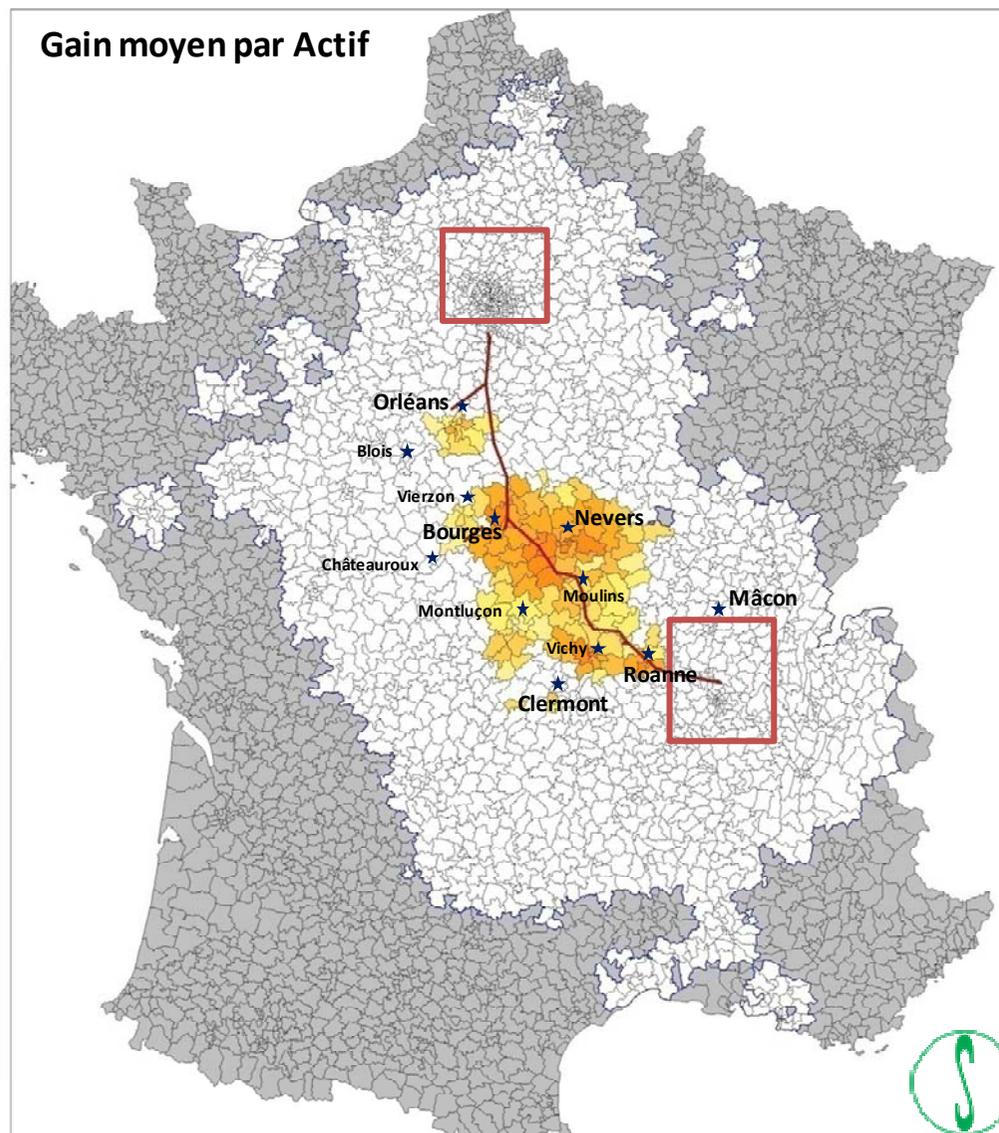
Ville	Gain moyen / Actif (€)
Orléans	42.89
Blois	7.41
Vierzon	33.71
Bourges	167.76
Châteauroux	13.38
Nevers	286.71
Moulins	53.40
Montluçon	23.34
Vichy	306.71
Clermont	9.19
Roanne	84.59
Mâcon	0.19



## PE\_MIN\_MMO par DeltaMinAT

2 730 à 9 510	(0)
1 090 à 2 730	(0)
460 à 1 090	(0)
170 à 460	(16)
70 à 170	(29)
60 à 70	(10)
50 à 60	(13)
40 à 50	(22)
30 à 40	(21)
25 à 30	(12)
-25 à 25	(1737)
-120 à -25	(0)

## Gain moyen par Actif



# Gain de Performance Economique par Canton (Médian Roanne Méthode: Minimum)

**Performance Economique**  
Gain Médian Roanne = 89 M€



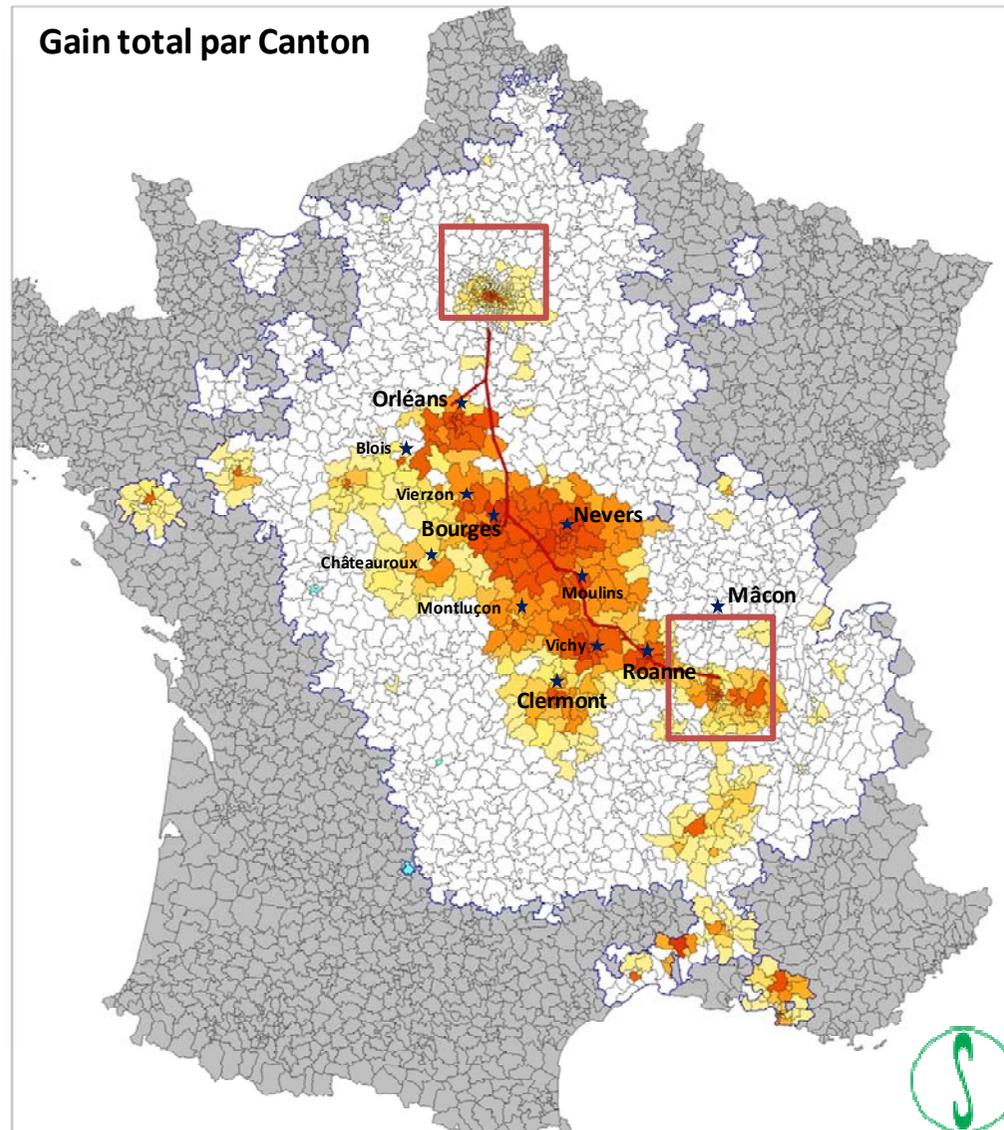
PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON



PE\_MIN\_MMO par DeltaMinCT

1 050 000 à 10 000 000	(12)
320 000 à 1 050 000	(48)
150 000 à 320 000	(54)
90 000 à 150 000	(64)
70 000 à 90 000	(36)
60 000 à 70 000	(23)
50 000 à 60 000	(25)
40 000 à 50 000	(52)
30 000 à 40 000	(47)
10 000 à 30 000	(256)
-10 000 à 10 000	(1240)
-100 000 à -10 000	(3)

Gain total par Canton



# Gain de Performance Economique par Actif (Médian Roanne Méthode: Pondérée)

## Médian Roanne

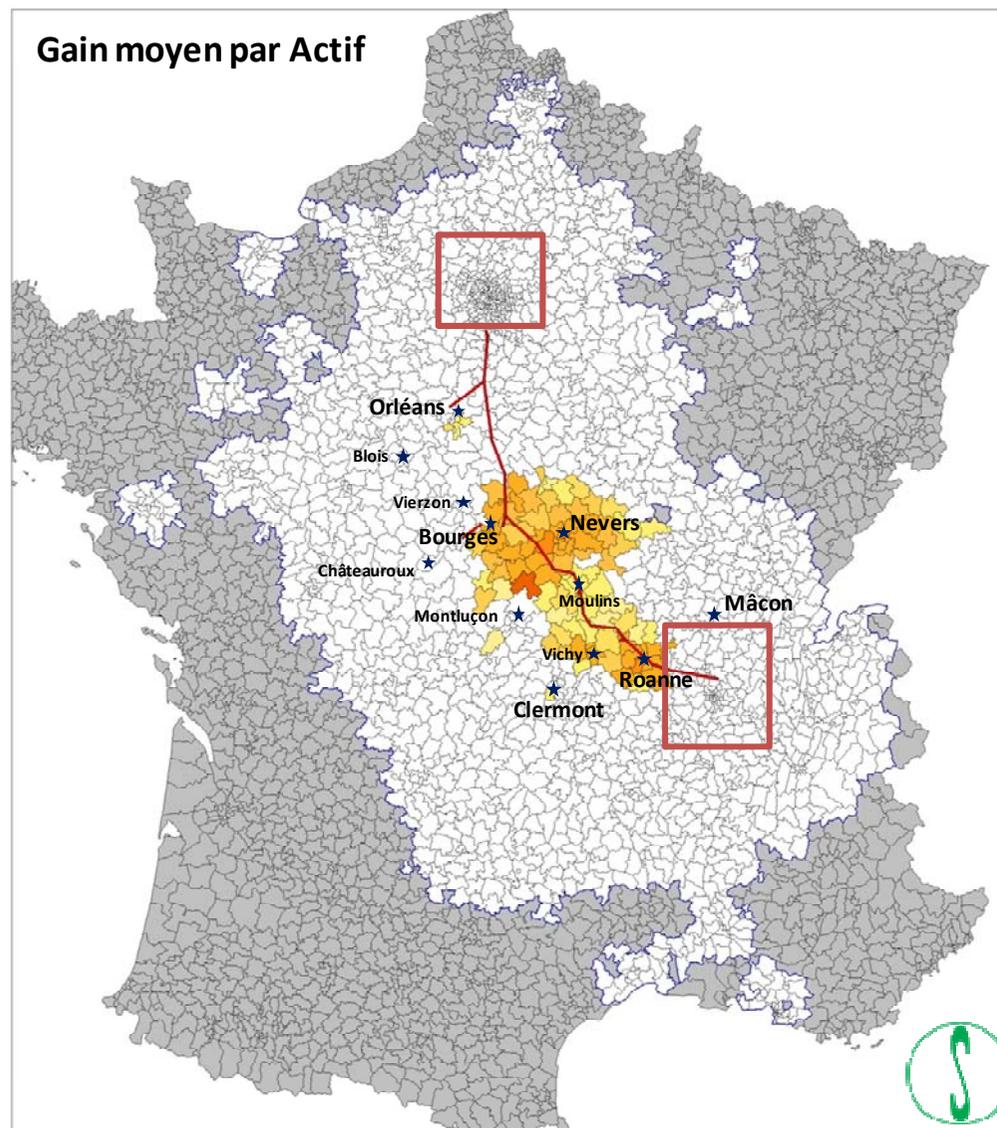
Ville	Gain moyen / Actif (€)
Orléans	24.63
Blois	3.89
Vierzon	16.90
Bourges	88.98
Châteauroux	9.06
Nevers	152.64
Moulins	36.69
Montluçon	12.38
Vichy	163.58
Clermont	6.54
Roanne	93.64
Mâcon	0.56



## PE\_PON\_MMO par DeltaMMOPe

2 730 à 9 510	(0)
1 090 à 2 730	(0)
460 à 1 090	(1)
170 à 460	(3)
70 à 170	(34)
60 à 70	(11)
50 à 60	(11)
40 à 50	(8)
30 à 40	(21)
25 à 30	(8)
-25 à 25	(1763)
-120 à -25	(0)

## Gain moyen par Actif



# Gain de Performance Economique par Canton (Médian Roanne Méthode: Pondérée)

**Performance Economique**  
Gain Médian Roanne = 63 M€



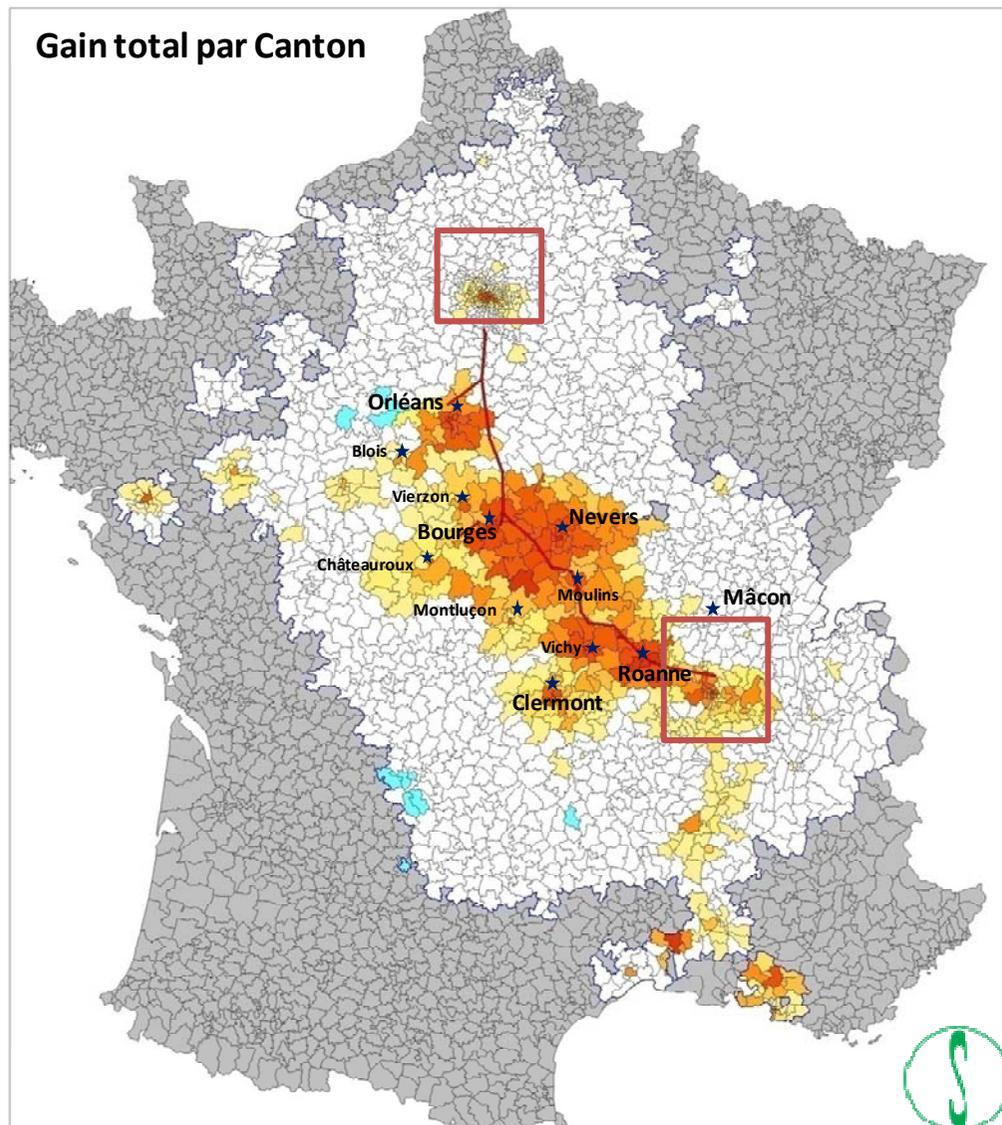
PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON



PE\_PON\_MMO par DeltaMMOPonC

1 050 000 à 10 000 000	(9)
320 000 à 1 050 000	(28)
150 000 à 320 000	(55)
90 000 à 150 000	(58)
70 000 à 90 000	(26)
60 000 à 70 000	(22)
50 000 à 60 000	(25)
40 000 à 50 000	(38)
30 000 à 40 000	(46)
10 000 à 30 000	(226)
-10 000 à 10 000	(1317)
-100 000 à -10 000	(10)

Gain total par Canton



# Gain de Performance Naturelle par Actif (Médian Roanne Méthode: Minimum)

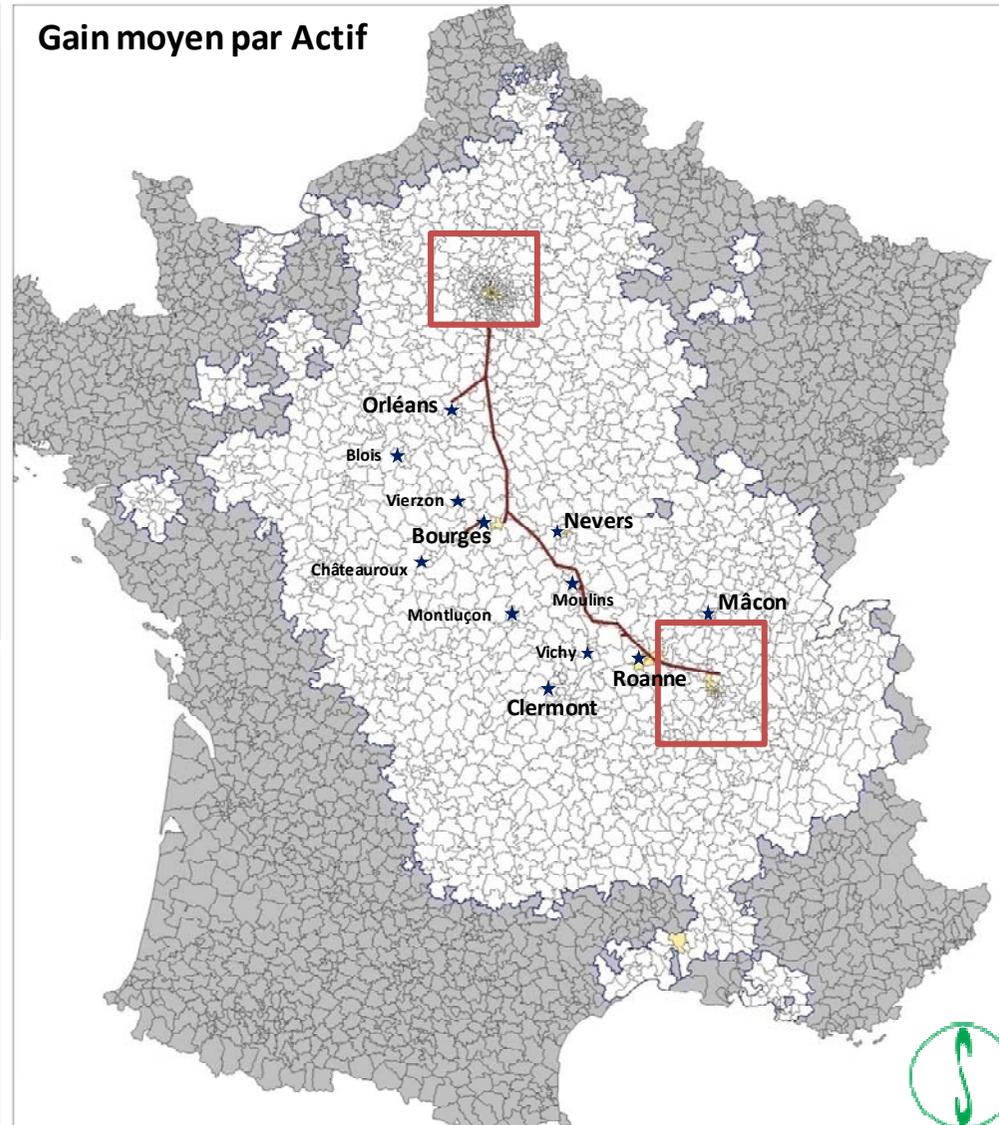
## Médian Roanne

Ville	Gain moyen / Actif (€)
Orléans	0.18
Blois	0.00
Vierzon	0.06
Bourges	0.95
Châteauroux	0.06
Nevers	3.55
Moulins	0.02
Montluçon	0.00
Vichy	1.72
Clermont	0.08
Roanne	0.88
Mâcon	0.00

## PE\_MIN\_MMO par DeltaMinAT

100 à 500	(0)
90 à 100	(0)
80 à 90	(0)
70 à 80	(0)
60 à 70	(0)
50 à 60	(0)
40 à 50	(0)
30 à 40	(0)
20 à 30	(0)
1 à 20	(44)
-1 à 1	(1816)
-20 à -1	(0)

## Gain moyen par Actif



# Gain de Performance Naturelle par Canton (Médian Roanne Méthode: Minimum)

**Performance Naturelle**  
Gain Médian Roanne = 9 M€



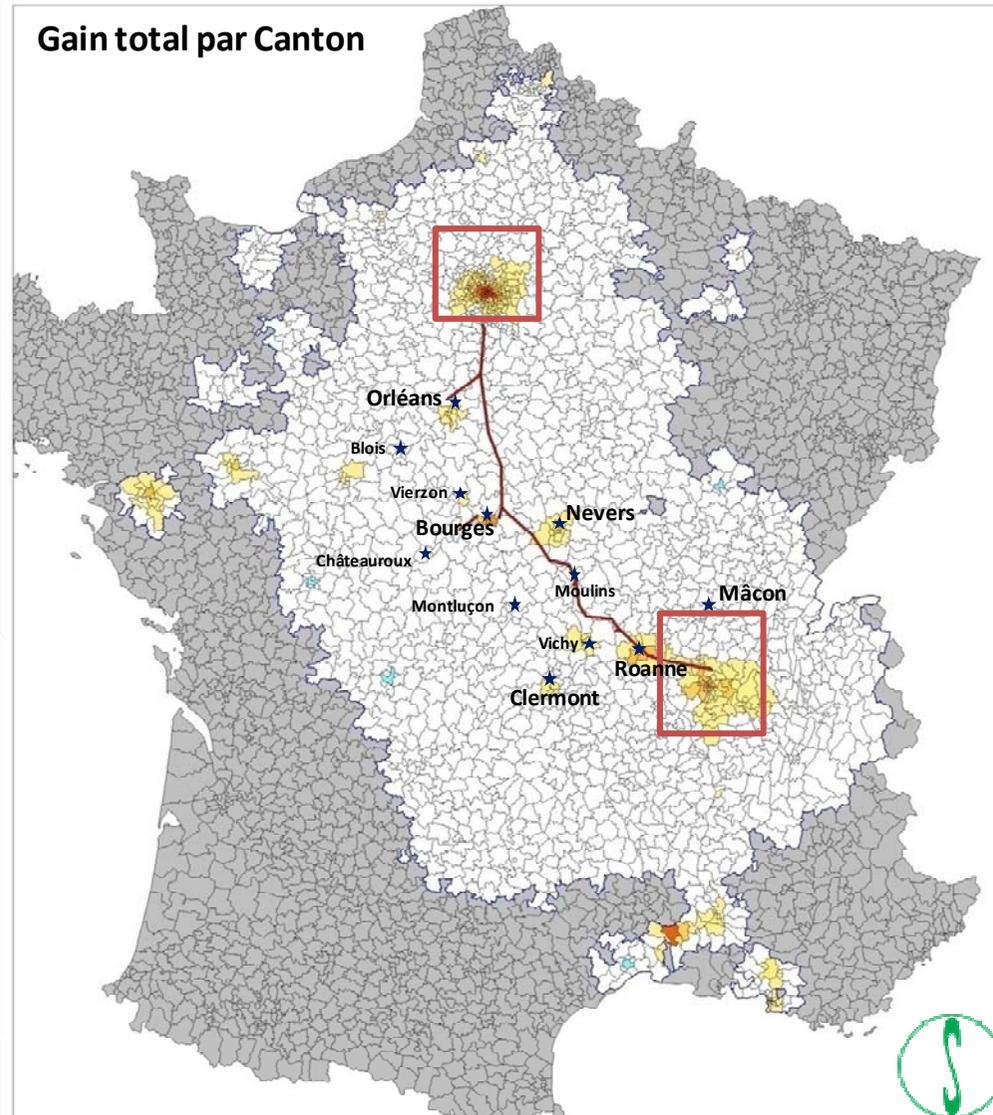
PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON



PE\_MIN\_MMO par DeltaMinCT

200 000 à 500 000	(10)
150 000 à 200 000	(5)
100 000 à 150 000	(4)
50 000 à 100 000	(8)
25 000 à 50 000	(9)
10 000 à 25 000	(35)
5 000 à 10 000	(38)
4 000 à 5 000	(12)
3 000 à 4 000	(15)
250 à 3 000	(197)
-250 à 250	(1523)
-10 000 à -250	(4)

Gain total par Canton



# Gain de Performance Naturelle par Actif (Médian Roanne Méthode: Pondérée)

## Médian Roanne

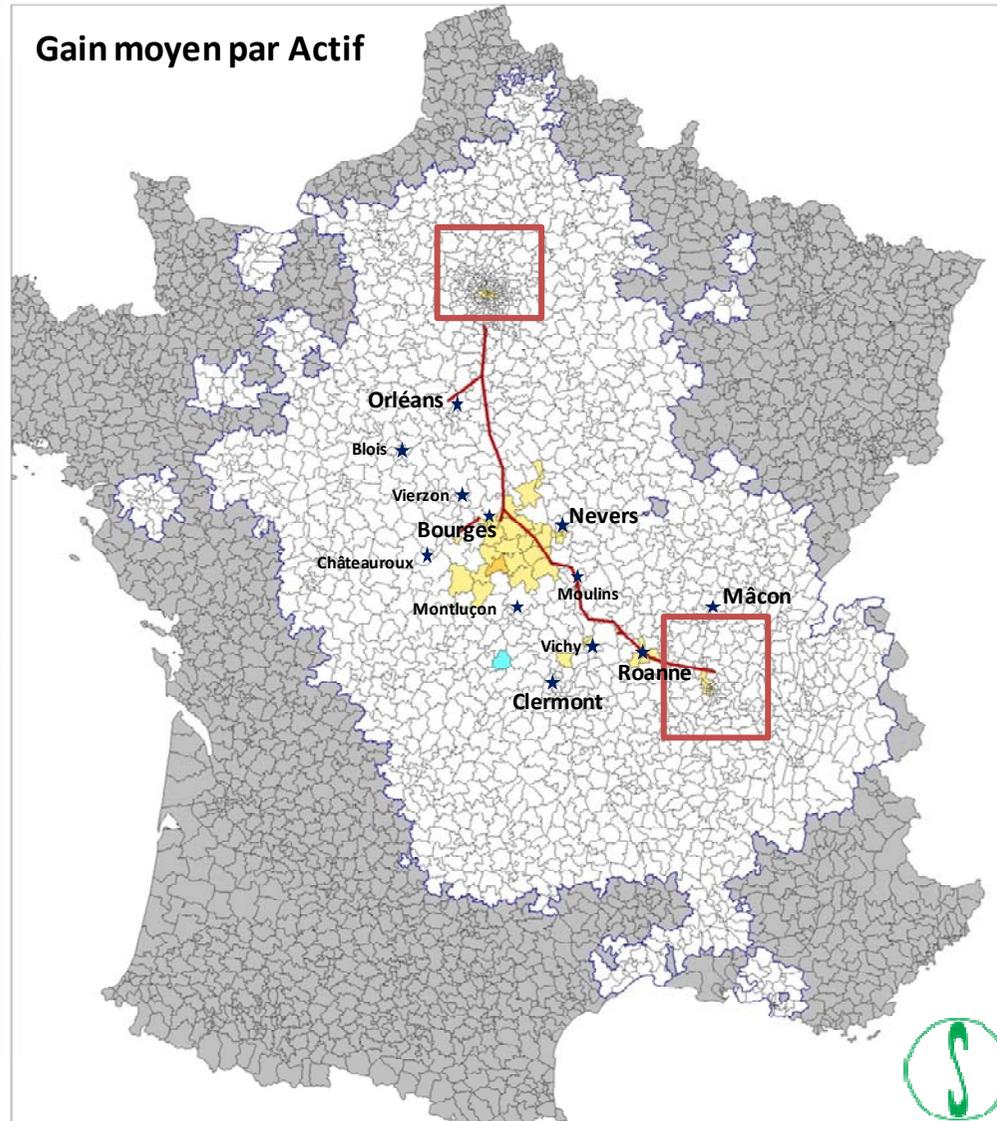
Ville	Gain moyen / Actif (€)
Orléans	0.04
Blois	-0.03
Vierzon	0.22
Bourges	1.78
Châteauroux	0.57
Nevers	4.61
Moulins	-0.07
Montluçon	0.19
Vichy	2.45
Clermont	0.44
Roanne	1.19
Mâcon	0.04



## PE\_PON\_MMO par DeltaMMOPc

100 à 500	(0)
90 à 100	(0)
80 à 90	(0)
70 à 80	(0)
60 à 70	(0)
50 à 60	(0)
40 à 50	(1)
30 à 40	(0)
20 à 30	(0)
1 à 20	(61)
-1 à 1	(1797)
-20 à -1	(1)

## Gain moyen par Actif



# Gain de Performance Naturelle par Canton (Médian Roanne Méthode: Pondérée)

**Performance Naturelle**  
Gain Médian Roanne = 5 M€



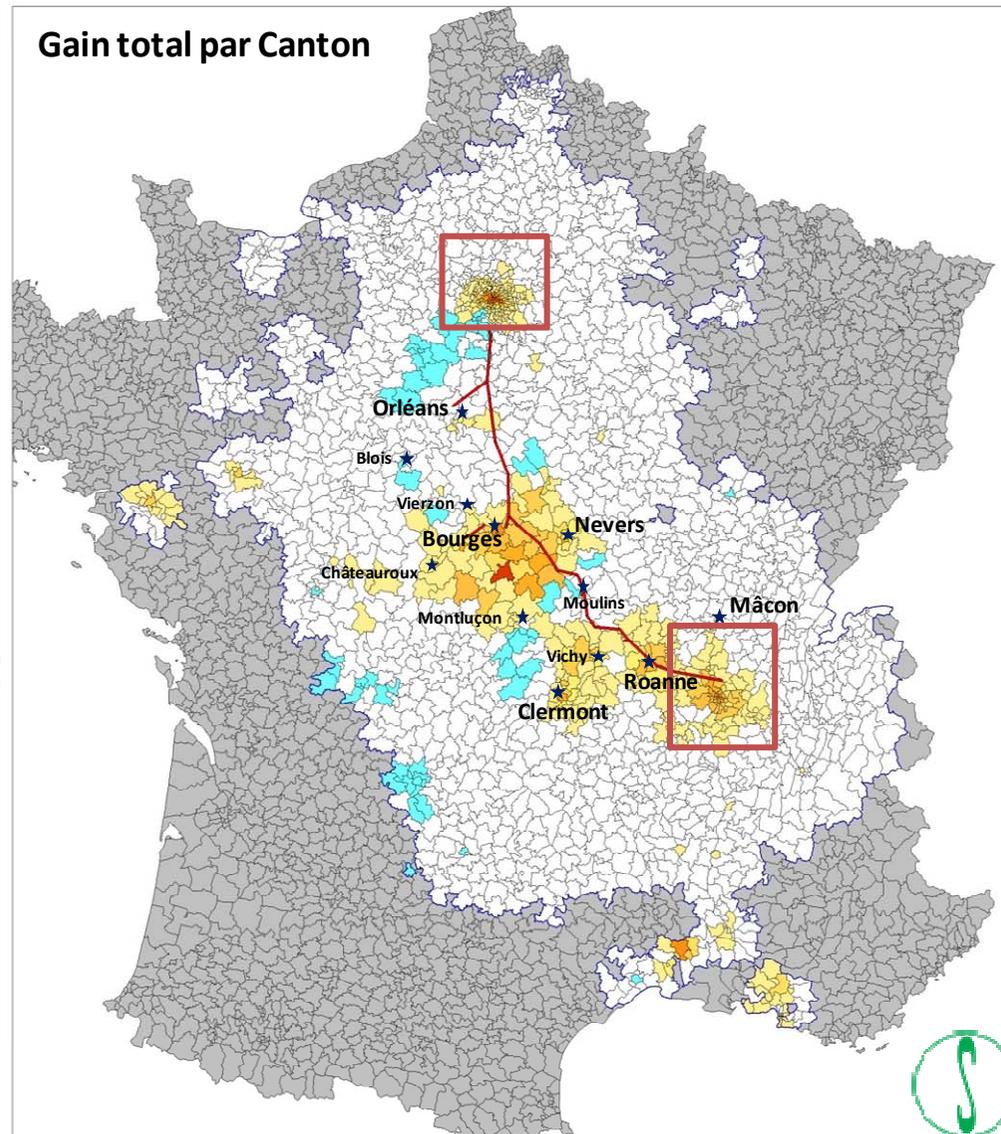
PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON



PE\_PON\_MMO par DeltaMMOPonC

200 000 à 500 000	(1)
150 000 à 200 000	(2)
100 000 à 150 000	(6)
50 000 à 100 000	(13)
25 000 à 50 000	(15)
10 000 à 25 000	(28)
5 000 à 10 000	(49)
4 000 à 5 000	(13)
3 000 à 4 000	(27)
250 à 3 000	(285)
-250 à 250	(1361)
-10 000 à -250	(60)

**Gain total par Canton**



# Scénario Médian Mâcon

# Gain de Performance Economique par Actif (Médian Mâcon Méthode: Minimum)

## Médian Mâcon

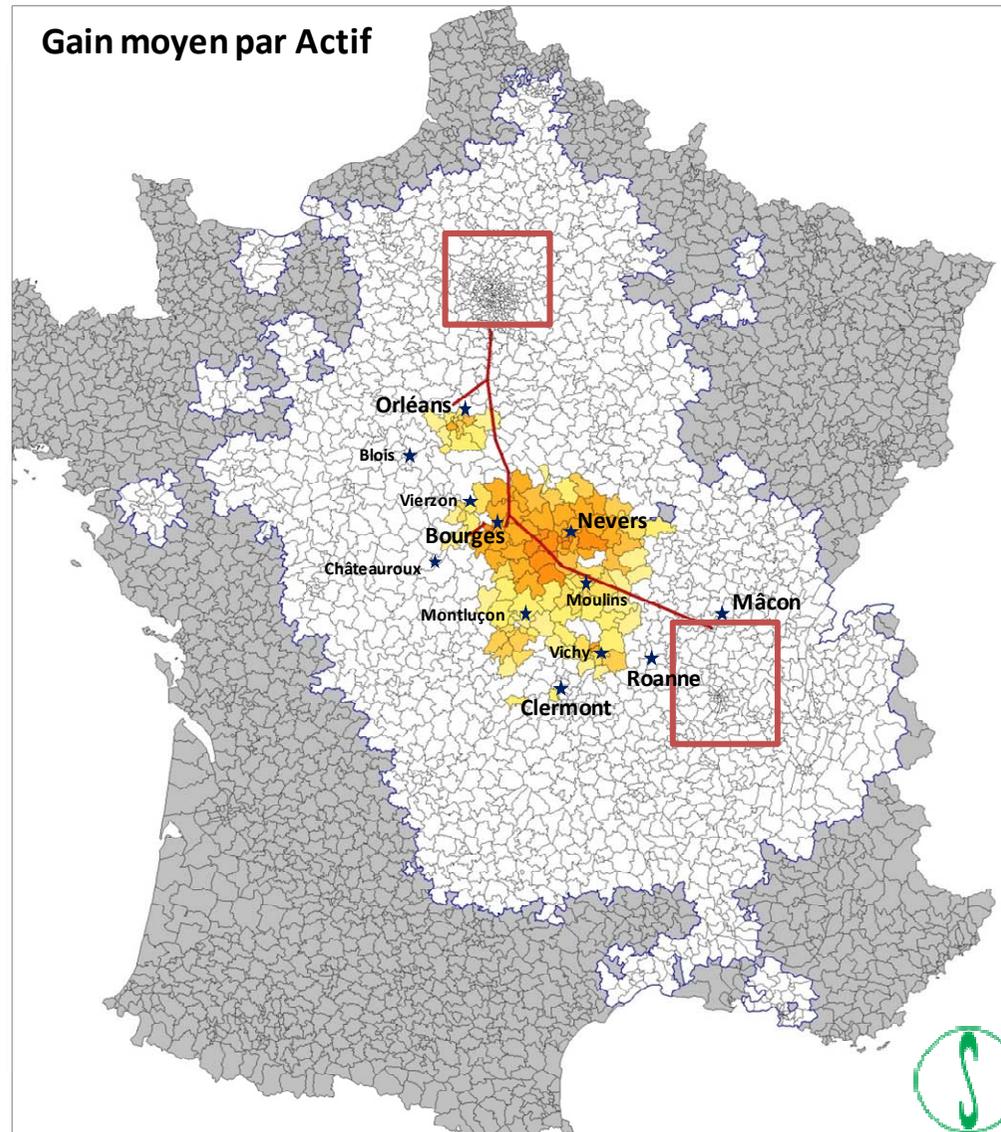
Ville	Gain moyen / Actif (€)
Orléans	42.69
Blois	7.29
Vierzon	33.58
Bourges	166.69
Châteauroux	13.44
Nevers	268.78
Moulins	44.28
Montluçon	23.52
Vichy	116.42
Clermont	7.66
Roanne	1.38
Mâcon	1.21



## PE\_MIN\_MMA par DeltaMinAT

2 730 à 9 510	(0)
1 090 à 2 730	(0)
460 à 1 090	(0)
170 à 460	(10)
70 à 170	(27)
60 à 70	(5)
50 à 60	(8)
40 à 50	(16)
30 à 40	(23)
25 à 30	(22)
-25 à 25	(1749)
-120 à -25	(0)

## Gain moyen par Actif



# Gain de Performance Economique par Canton (Médian Mâcon Méthode: Minimum)

**Performance Economique**  
Gain Médian Mâcon = 74 M€



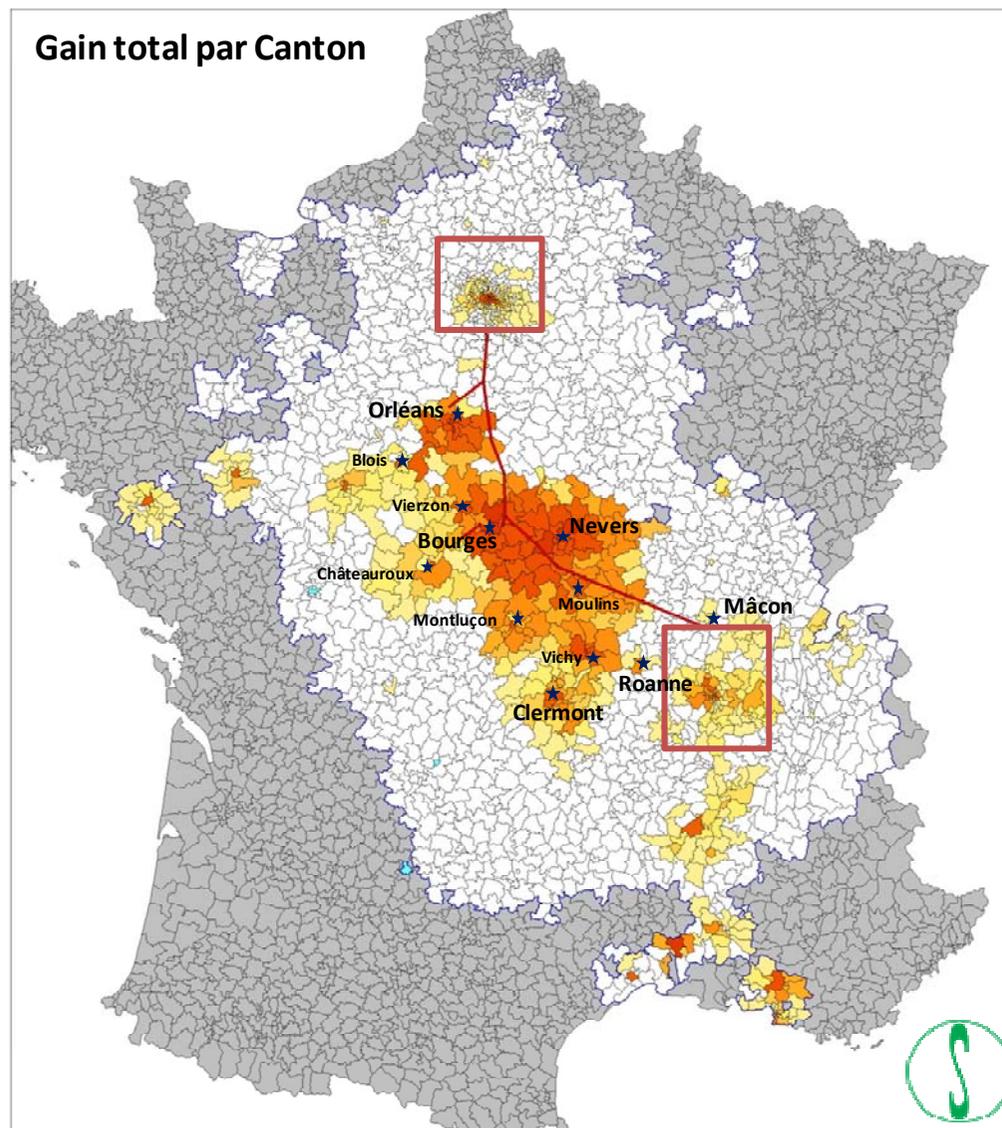
PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON



PE\_MIN\_MMA par DeltaMinCT

1 050 000 à 10 000 000	(9)
320 000 à 1 050 000	(39)
150 000 à 320 000	(43)
90 000 à 150 000	(60)
70 000 à 90 000	(38)
60 000 à 70 000	(20)
50 000 à 60 000	(22)
40 000 à 50 000	(41)
30 000 à 40 000	(61)
10 000 à 30 000	(264)
-10 000 à 10 000	(1260)
-100 000 à -10 000	(3)

Gain total par Canton



# Gain de Performance Economique par Actif (Médian Mâcon Méthode: Pondérée)

## Médian Mâcon

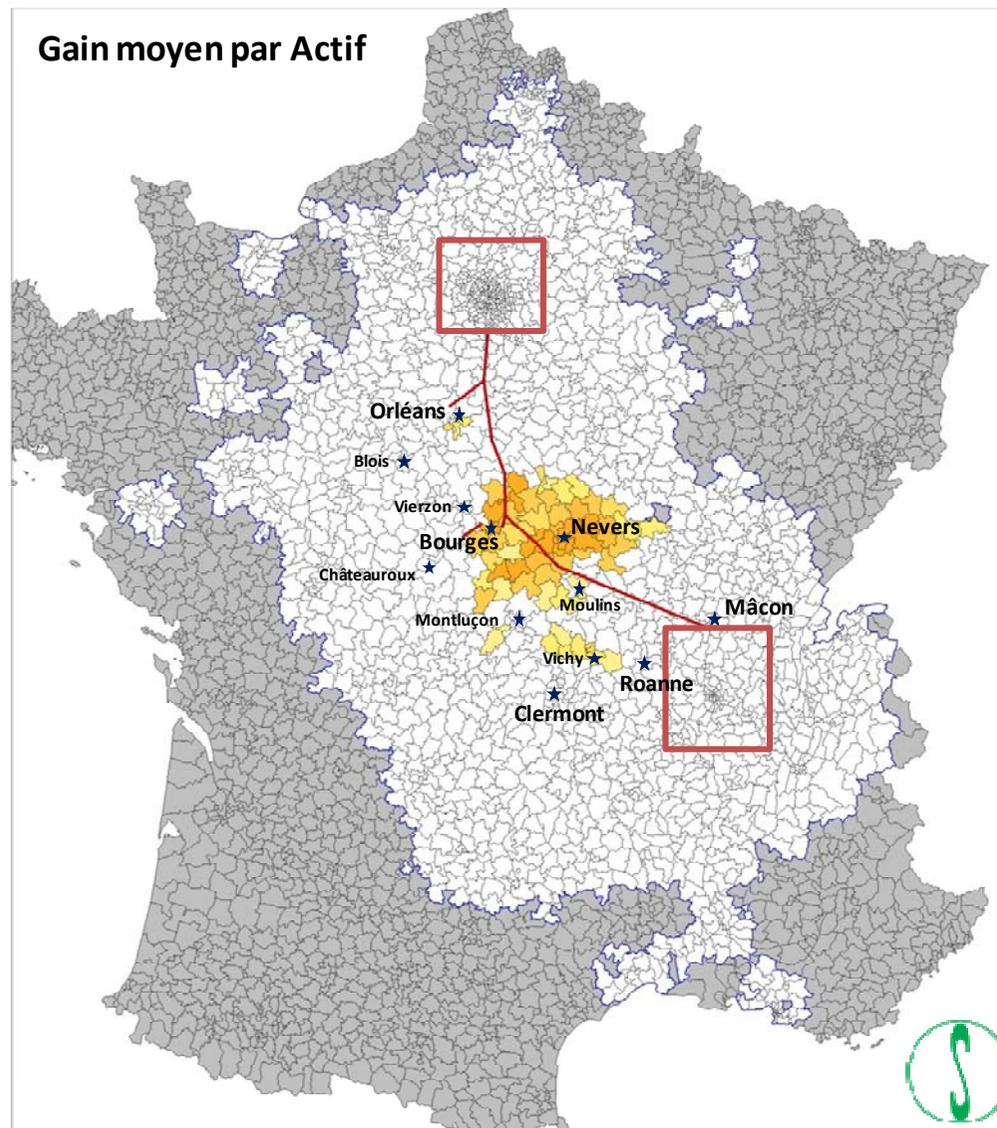
Ville	Gain moyen / Actif (€)
Orléans	24.53
Blois	3.82
Vierzon	16.65
Bourges	88.38
Châteauroux	9.05
Nevers	141.14
Moulins	27.74
Montluçon	13.05
Vichy	63.99
Clermont	4.82
Roanne	8.54
Mâcon	0.76



## PE\_PON\_MMA par DeltaMMAp

2 730 à 9 510	(0)
1 090 à 2 730	(0)
460 à 1 090	(0)
170 à 460	(1)
70 à 170	(16)
60 à 70	(5)
50 à 60	(15)
40 à 50	(8)
30 à 40	(13)
25 à 30	(12)
-25 à 25	(1790)
-120 à -25	(0)

## Gain moyen par Actif



# Gain de Performance Economique par Canton (Médian Mâcon Méthode: Pondérée)

**Performance Economique**  
Gain Médian Mâcon = 47 M€



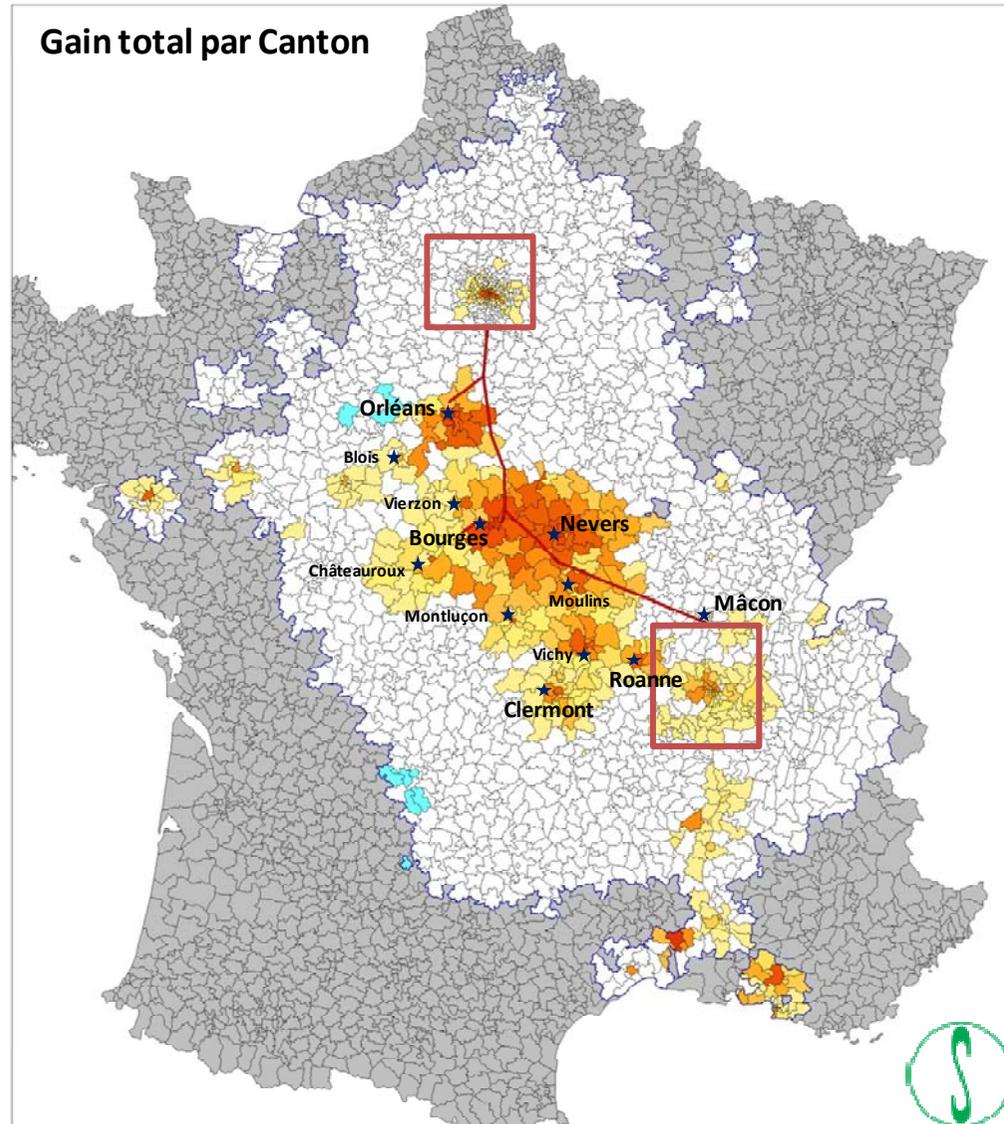
PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON



PE\_PON\_MMA par DeltaMMA PonC

1 050 000 à 10 000 000	(4)
320 000 à 1 050 000	(16)
150 000 à 320 000	(41)
90 000 à 150 000	(45)
70 000 à 90 000	(29)
60 000 à 70 000	(18)
50 000 à 60 000	(27)
40 000 à 50 000	(37)
30 000 à 40 000	(43)
10 000 à 30 000	(246)
-10 000 à 10 000	(1345)
-100 000 à -10 000	(9)

Gain total par Canton



# Gain de Performance Naturelle par Actif (Médian Mâcon Méthode: Minimum)

## Médian Mâcon

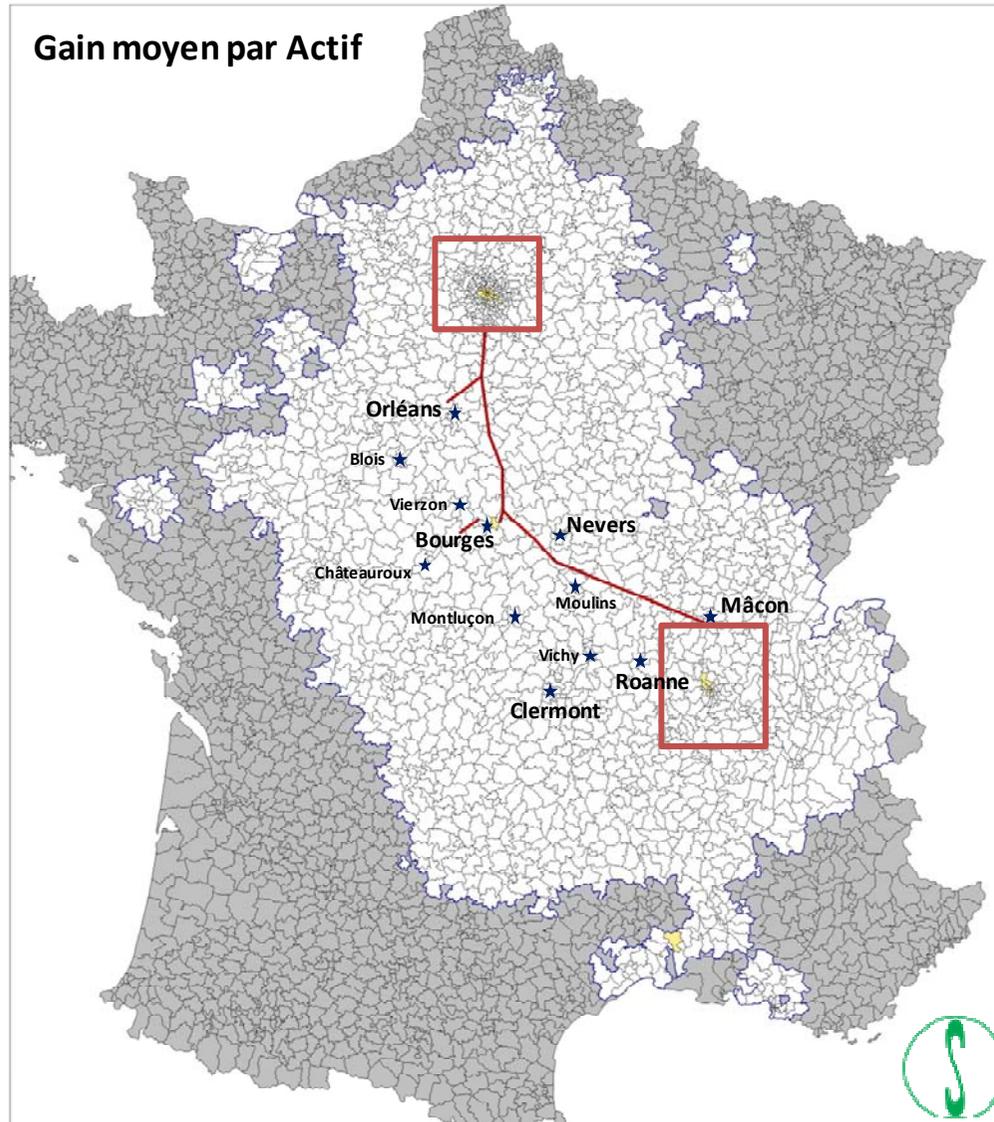
Ville	Gain moyen / Actif (€)
Orléans	0.17
Blois	0.00
Vierzon	0.05
Bourges	0.90
Châteauroux	0.06
Nevers	2.09
Moulins	0.01
Montluçon	0.00
Vichy	0.31
Clermont	0.06
Roanne	0.01
Mâcon	0.00



## PE\_MIN\_MMA par DeltaMinAT

100 à 500	(0)
90 à 100	(0)
80 à 90	(0)
70 à 80	(0)
60 à 70	(0)
50 à 60	(0)
40 à 50	(0)
30 à 40	(0)
20 à 30	(0)
1 à 20	(39)
-1 à 1	(1821)
-20 à -1	(0)

## Gain moyen par Actif



# Gain de Performance Naturelle par Canton (Médian Mâcon Méthode: Minimum)

**Performance Naturelle**  
Gain Médian Mâcon = 8 M€



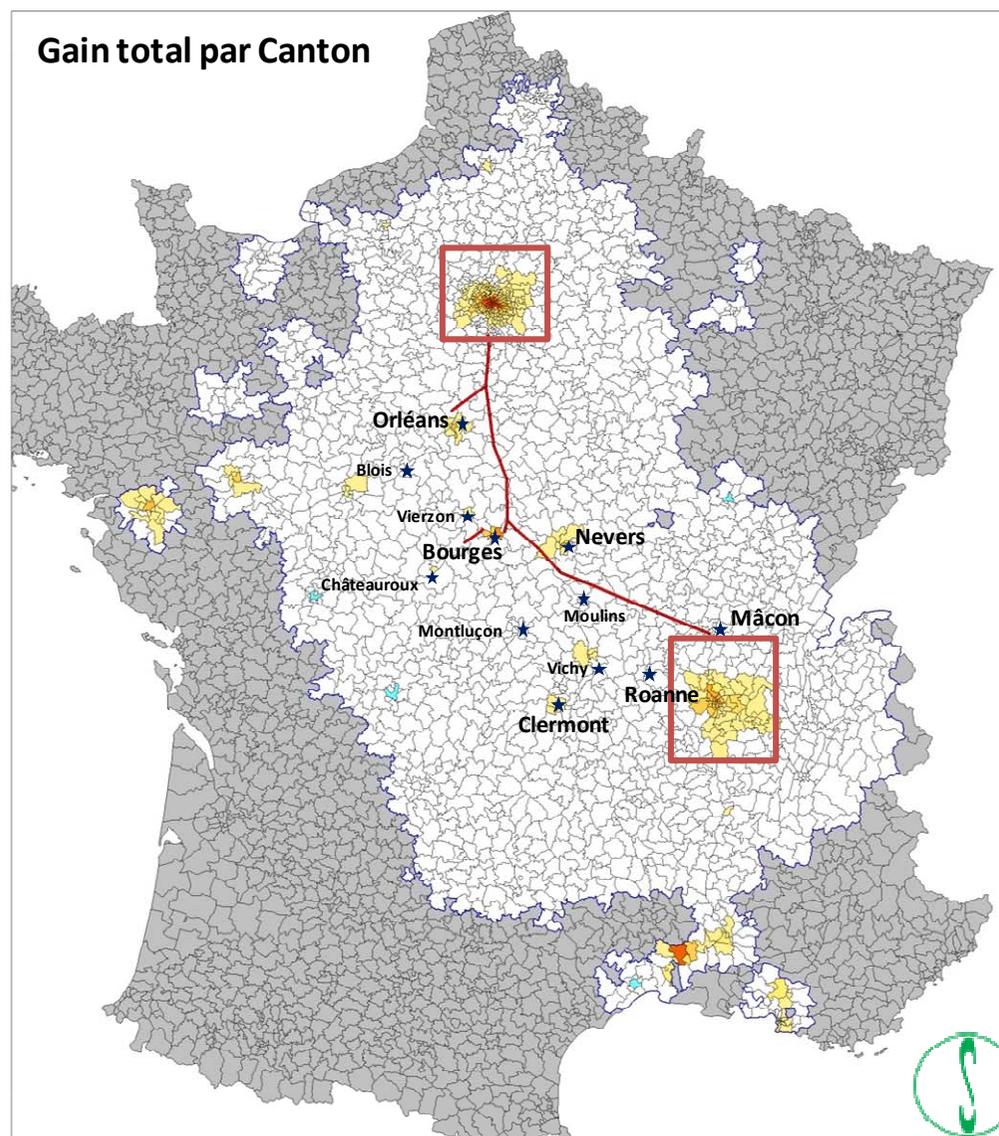
PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON



PE\_MIN\_MMA par DeltaMinCT

200 000 à 500 000	(10)
150 000 à 200 000	(5)
100 000 à 150 000	(4)
50 000 à 100 000	(7)
25 000 à 50 000	(9)
10 000 à 25 000	(31)
5 000 à 10 000	(39)
4 000 à 5 000	(13)
3 000 à 4 000	(15)
250 à 3 000	(187)
-250 à 250	(1536)
-10 000 à -250	(4)

Gain total par Canton



# Gain de Performance Naturelle par Actif (Médian Mâcon Méthode: Pondérée)

## Médian Mâcon

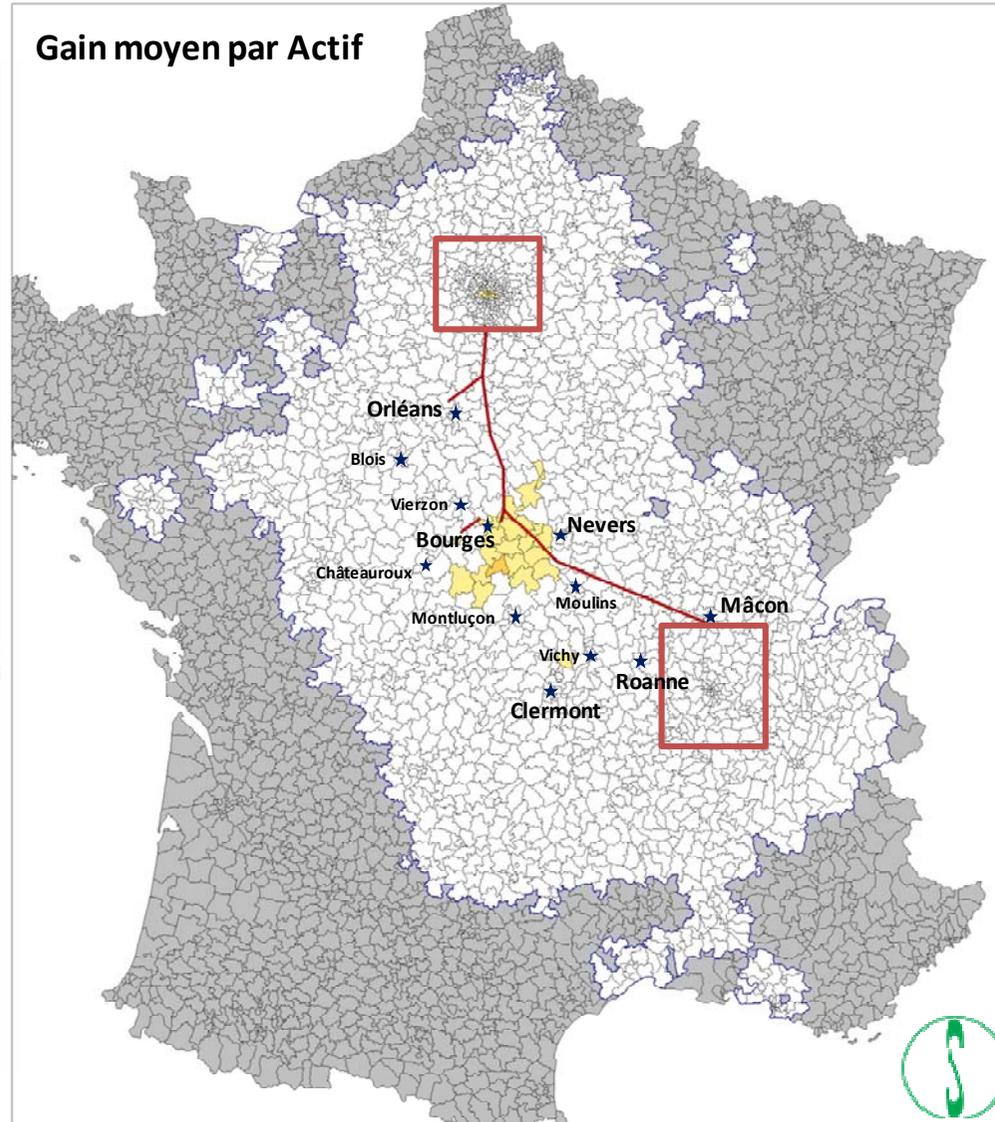
Ville	Gain moyen / Actif (€)
Orléans	0.04
Blois	-0.03
Vierzon	0.21
Bourges	1.74
Châteauroux	0.57
Nevers	3.29
Moulins	-0.38
Montluçon	0.23
Vichy	0.86
Clermont	0.26
Roanne	0.07
Mâcon	0.00



## PE\_PON\_MMA par DeltaMMAp

100 à 500	(0)
90 à 100	(0)
80 à 90	(0)
70 à 80	(0)
60 à 70	(0)
50 à 60	(0)
40 à 50	(1)
30 à 40	(0)
20 à 30	(0)
1 à 20	(42)
-1 à 1	(1817)
-20 à -1	(0)

## Gain moyen par Actif



# Gain de Performance Naturelle par Canton (Médian Mâcon Méthode: Pondérée)

**Performance Naturelle**  
Gain Médian Mâcon = 5 M€



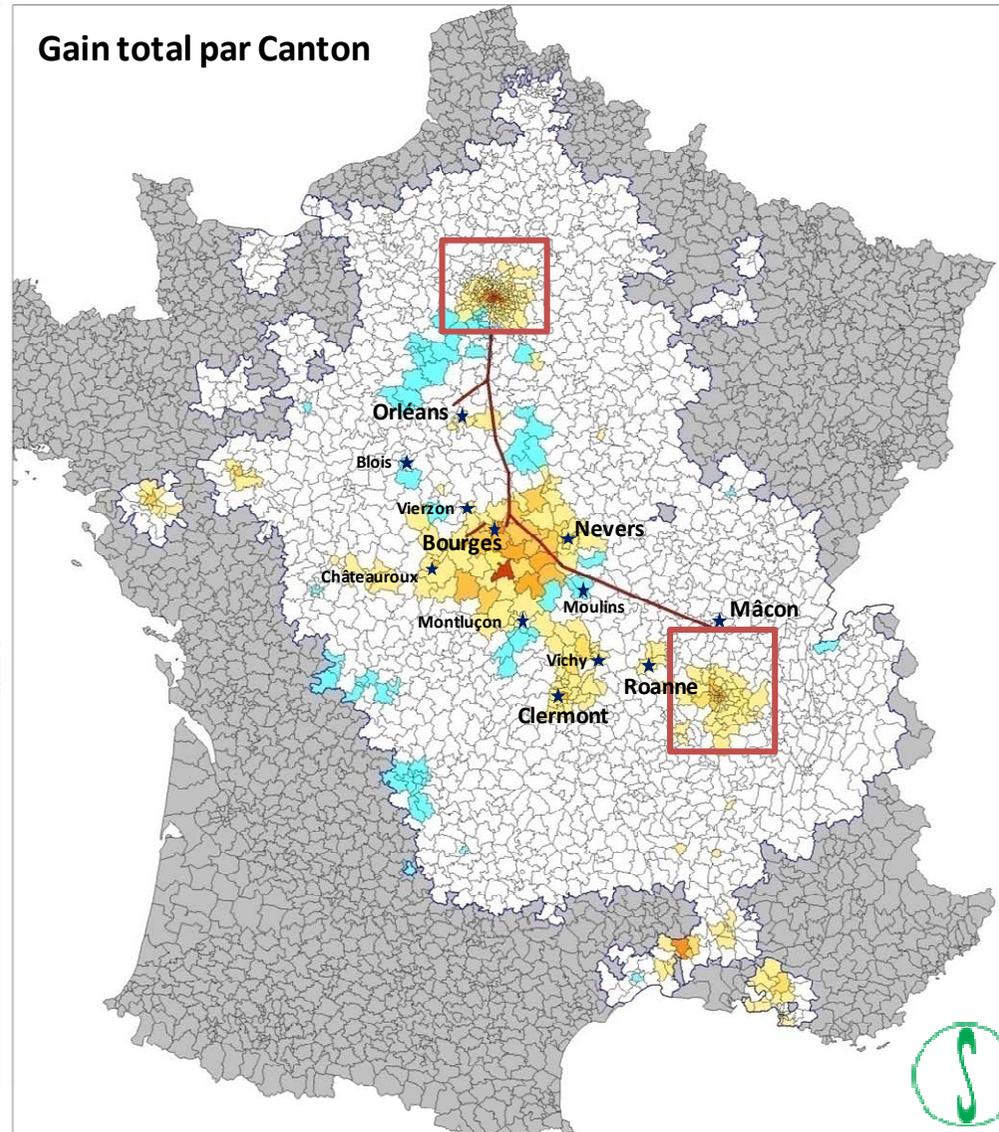
PARIS **ORLÉANS LGV**  
CLERMONT-FERRAND LYON



PE\_PON\_MMA par DeltaMMA Po

200 000 à 500 000	(1)
150 000 à 200 000	(2)
100 000 à 150 000	(7)
50 000 à 100 000	(11)
25 000 à 50 000	(8)
10 000 à 25 000	(22)
5 000 à 10 000	(39)
4 000 à 5 000	(14)
3 000 à 4 000	(21)
250 à 3 000	(269)
-250 à 250	(1399)
-10 000 à -250	(67)

**Gain total par Canton**

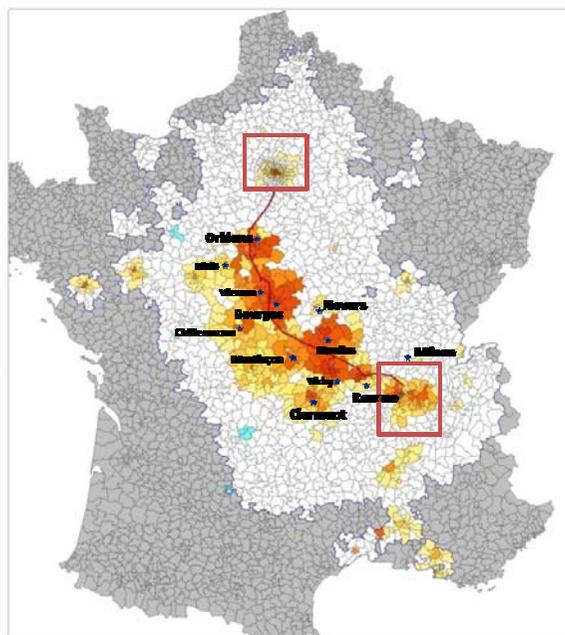


# Comparaison des scénarios

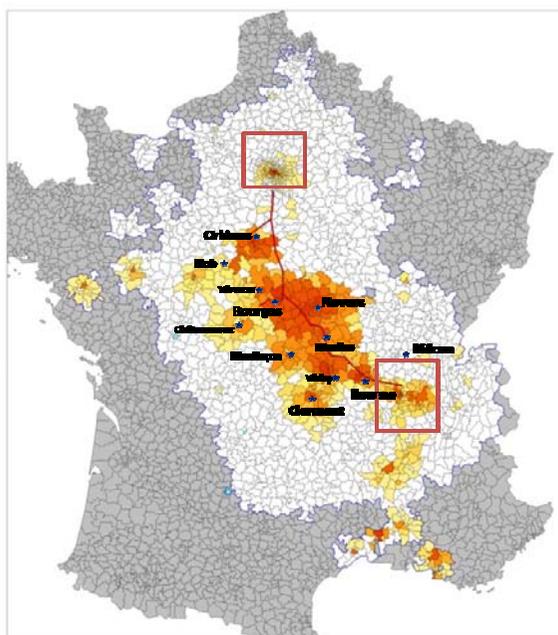
# Comparaison sur la performance économique

(Gain de performance économique par canton)

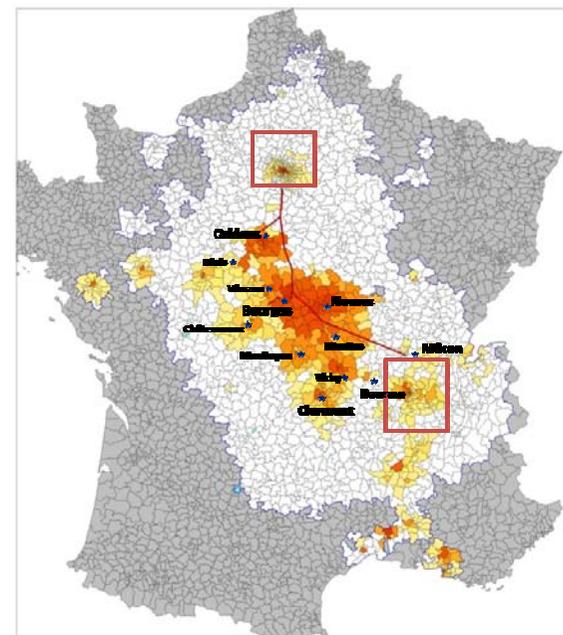
Ouest-sud (MIN)



Médian Roanne (MIN)



Médian Mâcon (MIN)



Ville	Gain moyen / Actif (€)
Orléans	53.26
Blois	8.94
+ Vierzon	89.16
Bourges	112.85
Châteauroux	19.16
Nevers	11.83
+ Moulin	198.47
Montluçon	26.58
+ Vichy	613.21
Clermont	9.33
+ Roanne	83.64
Mâcon	0.15

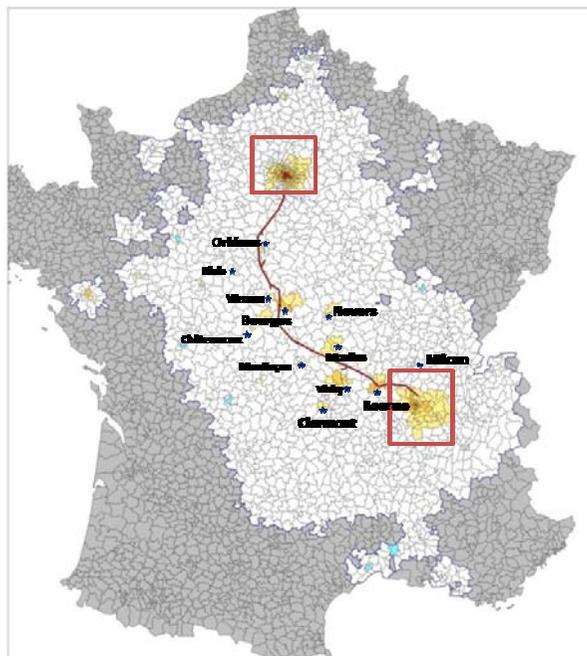
Ville	Gain moyen / Actif (€)
Orléans	42.89
Blois	7.41
Vierzon	33.71
+ Bourges	167.76
+ Châteauroux	13.38
+ Nevers	286.71
Moulin	53.40
Montluçon	23.34
+ Vichy	306.71
Clermont	9.19
+ Roanne	84.59
Mâcon	0.19

Ville	Gain moyen / Actif (€)
Orléans	42.69
Blois	7.29
Vierzon	33.58
+ Bourges	166.69
+ Châteauroux	13.44
+ Nevers	268.78
Moulin	44.28
Montluçon	23.52
Vichy	116.42
Clermont	7.66
Roanne	1.38
Mâcon	1.21

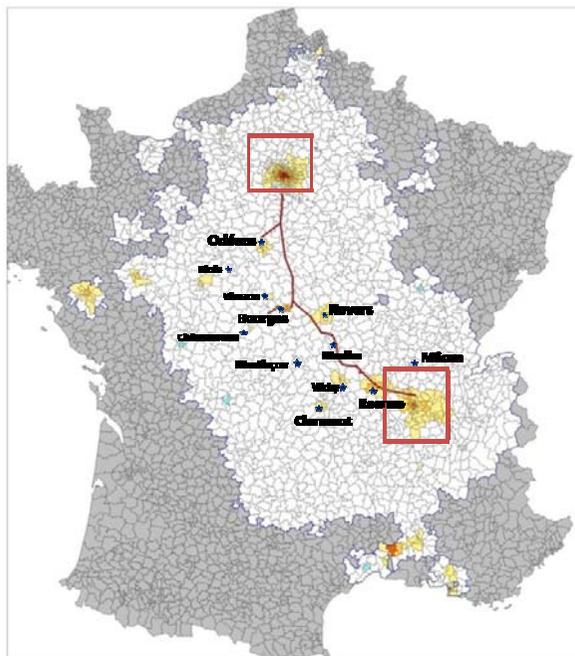
# Comparaison sur la performance naturelle

(Gain de performance naturelle par canton)

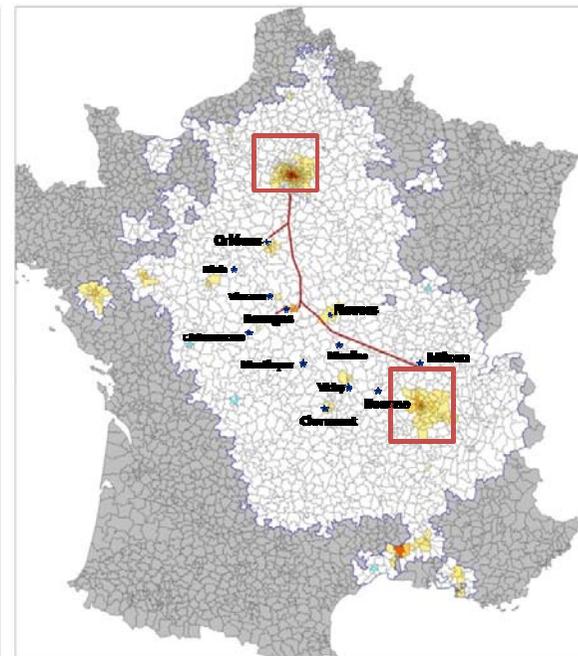
Ouest-sud (MIN)



Médian Roanne (MIN)



Médian Mâcon (MIN)



	Minimum			Pondérée		
	ECO	NAT	TOTAL	ECO	NAT	TOTAL
Gain Ovest-Sud	82 079 303	5 760 683	<b>87 839 986</b>	53 809 474	3 376 744	<b>57 186 218</b>
Gain Médian Roanne	88 830 108	8 548 043	<b>97 378 150</b>	63 029 001	5 197 188	<b>68 226 190</b>
Gain Médian Mâcon	73 786 692	8 422 728	<b>82 209 421</b>	47 412 096	4 554 628	<b>51 966 724</b>

## **4. DISCUSSION / CONCLUSION**

---

### **4.1. SUR LA METHODE**

#### **4.1.1. Prise en compte de la spécificité des déplacements longue distance et grande vitesse**

Cette étude constitue une première application de la méthode d'évaluation des gains de performances économiques et naturelles pour un projet de ligne à grande vitesse.

Cette application a permis de prendre conscience de l'importance de prendre en compte des classes de revenus dans la population pour mieux estimer les gains générés par l'infrastructure nouvelle.

En effet, à la différence des infrastructures de transport urbain, essentiellement utilisées pour des déplacements à courte distance, sur des durées inférieures à 30 minutes et pour un coût faible, dans le cadre d'une mobilité quotidienne, par l'ensemble de la population (relativement bien représentée dans ce cas par un individu moyen), les lignes à grande vitesse concernent essentiellement :

- Des déplacements à longue distance (supérieure à 80 km), qui représentent une part très faible de la mobilité des français (6,4 déplacements / habitant / an) ;
- Des déplacements assez long et plus coûteux ;
- Effectués la plupart du temps dans le cadre d'une mobilité exceptionnelle ;
- Majoritairement par les actifs aux revenus les plus élevés en raison notamment de l'importance relative des déplacements professionnels.

Ces caractéristiques nécessitent donc une prise en compte plus fine de la population et une attention particulière au  $\alpha$  (la « visibilité » des déplacements à longue distance est particulièrement sensible au  $\alpha$ ). Aussi avons-nous également proposé de revoir la formulation du coefficient  $\alpha$ .

#### **4.1.2. Différences entre les méthodes de calcul des coûts généralisés**

Les méthodes de calcul des coûts généralisés de déplacement (méthodes « coût minimum » et « coût pondéré ») donnent des résultats quantitativement différents mais qualitativement congruents.

La méthode « coût pondéré » estime les gains de performance en-dessous de la méthode « coût minimum ». Même si d'un point de vue théorique, la méthode « coût pondéré » semble plus pertinente car plus proche des pratiques des voyageurs, la mise en œuvre s'avère plus compliquée qu'il n'y paraît et les résultats finalement plus incertains. En effet, pour éviter les problèmes liés à l'absence de données et aux variations non souhaitées des coûts (cas d'une augmentation du coût pondéré après basculement modal sans amélioration suffisante des coûts du mode avantagé par le projet), nous avons dû fixer les parts modales sur la situation de référence (ce qui évidemment minimise l'intérêt du projet – lorsque celui permet non seulement une amélioration du coût généralisé de la solution « fer » mais également un transfert modal – dans le cas où il est globalement favorable).

Le coût « minimum » est plus simple à calculer. En revanche, il ne permet pas la nuance : il ne valorise que les liaisons où le fer (amélioré par le projet) devient la solution la plus avantageuse.

## 4.2. SUR LE PROJET ET LES SCENARIOS ETUDIES

### 4.2.1. Gains de performances économiques et naturelles générés par le projet

Globalement, quel que soit le scénario regardé, le calcul des gains de performances économiques et naturelles s'établit à un montant plus faible que la valorisation des gains de temps calculés dans l'évaluation socio-économique (de l'ordre de 20 à 25%). Les gains de temps gagnés à (très) longue distance ne sont pas vraiment valorisés par la méthode (notamment les gains sur les OD Paris-Méditerranée).

L'étude a permis de comparer deux scénarios et deux variantes d'arrivée sur la métropole lyonnaise.

	Minimum			Pondérée		
	ECO	NAT	TOTAL	ECO	NAT	TOTAL
Gain Ouest-Sud	82 079 303	5 760 683	<b>87 839 986</b>	53 809 474	3 376 744	<b>57 186 218</b>
Gain Médian Roanne	88 830 108	8 548 043	<b>97 378 150</b>	63 029 001	5 197 188	<b>68 226 190</b>
Gain Médian Mâcon	73 786 692	8 422 728	<b>82 209 421</b>	47 412 096	4 554 628	<b>51 966 724</b>

En termes de gain global, le scénario Médian Roanne semble le plus avantageux (gains de performance évalués à 97 M€/an). Le scénario Médian Mâcon semble le moins avantageux avec des gains de performances inférieures de l'ordre de 15%. Le scénario Ouest-Sud offre des gains intermédiaires (88 M€/an).

En outre, cette étude permet de territorialiser les effets positifs du projet et les potentialités de développement territorial en fonction du scénario retenu.

## 4.2.2. Effets territoriaux des différents scénarios

### Répartition géographique des gains de performance

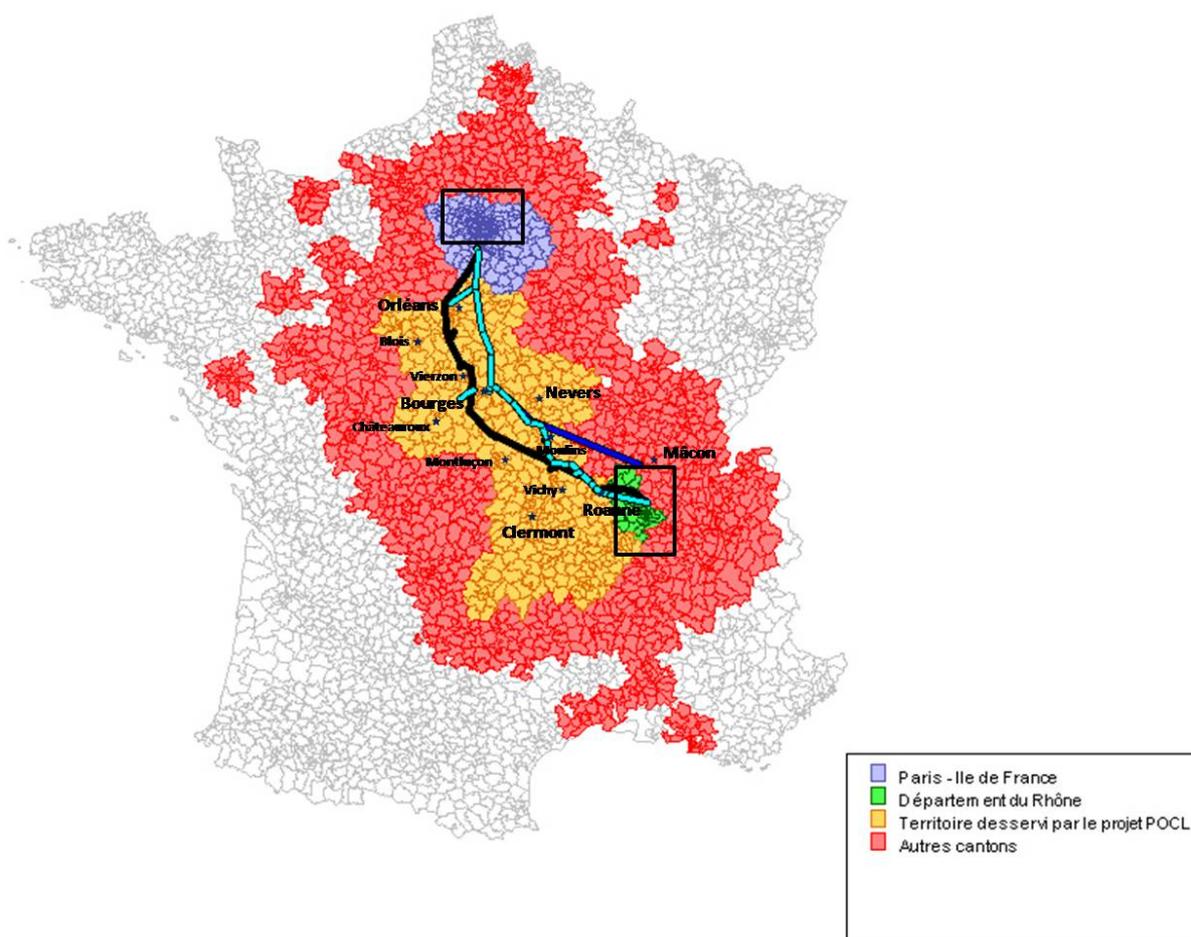


Figure 10. Analyse des gains par macrozones / définition des zones d'analyse.

Tableau 4. Répartition des gains par macrozones pour le scénario Ouest-Sud.

		Minimum			
		ECO	NAT	TOTAL	%
Gain Ouest-Sud	Ile de France	8 456 261	5 044 278	13 500 539	15%
	Zone Lyon	5 080 600	470 492	5 551 092	6%
	Zone d'étude POCL	60 962 118	210 418	61 172 535	70%
	Zone reste	7 580 325	35 496	7 615 821	9%
	<b>TOTAL</b>	<b>82 079 303</b>	<b>5 760 683</b>	<b>87 839 986</b>	<b>100%</b>

Tableau 5. Répartition des gains par macrozones pour le scénario Médian Roanne.

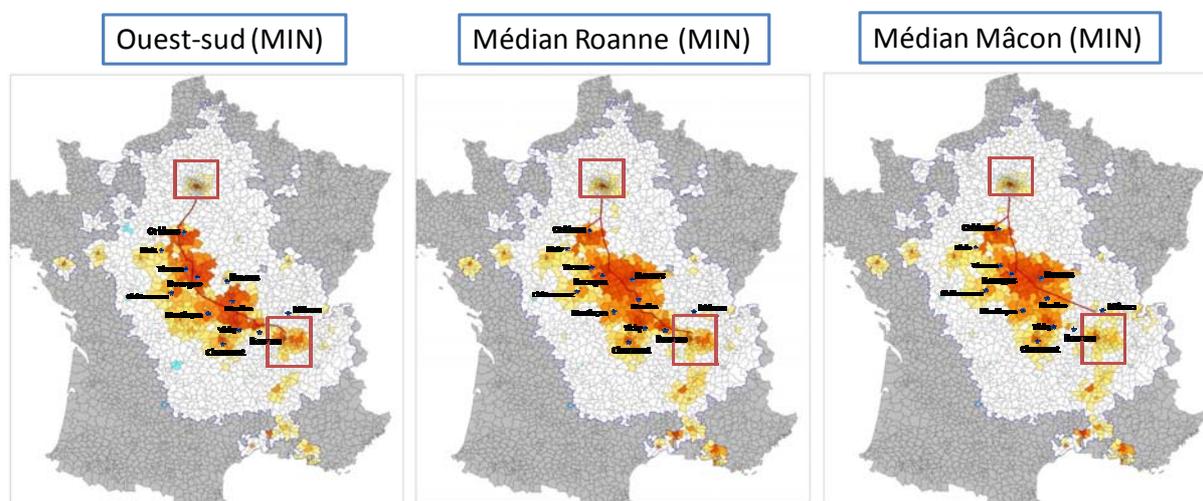
		Minimum			
		ECO	NAT	TOTAL	%
Gain Médian Roanne	Ile de France	10 508 945	7 932 302	18 441 246	19%
	Zone Lyon	4 232 590	285 571	4 518 161	5%
	Zone d'étude POCL	62 298 006	234 148	62 532 153	64%
	Zone reste	11 790 567	96 023	11 886 590	12%
	<b>TOTAL</b>	<b>88 830 108</b>	<b>8 548 043</b>	<b>97 378 150</b>	<b>100%</b>

**Tableau 6. Répartition des gains par macrozones pour le scénario Médian Mâcon.**

		Minimum			
		ECO	NAT	TOTAL	%
Gain Médian Mâcon	Ile de France	10 454 606	7 983 125	<b>18 437 730</b>	<b>22%</b>
	Zone Lyon	2 907 686	225 271	<b>3 132 957</b>	<b>4%</b>
	Zone d'étude POCL	49 317 824	126 897	<b>49 444 722</b>	<b>60%</b>
	Zone reste	11 106 575	87 435	<b>11 194 011</b>	<b>14%</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>73 786 692</b>	<b>8 422 728</b>	<b>82 209 421</b>	<b>100%</b>

Quel que soit le scénario, plus de 60% de la valeur est directement en lien avec le territoire Grand Centre Auvergne. Près de 20% de la valeur est localisée en Ile-de-France et environ 5% sur la métropole lyonnaise. Le reste du territoire métropolitain bénéficie de 9 à 15% de la valeur.

*Territoires bénéficiaires du projet*



**Figure 11. Gain de performance économique par canton selon le scénario.**

Ville	Gain moyen / Actif (€)	Ville	Gain moyen / Actif (€)	Ville	Gain moyen / Actif (€)
Orléans	53.26	Orléans	42.89	Orléans	42.69
Blois	8.94	Blois	7.41	Blois	7.29
+ Vierzon	89.16	+ Vierzon	33.71	+ Vierzon	33.58
Bourges	112.85	+ Bourges	167.76	+ Bourges	166.69
Châteauroux	19.16	Châteauroux	13.38	+ Châteauroux	13.44
Nevers	11.83	+ Nevers	286.71	+ Nevers	268.78
+ Moulins	198.47	Moulins	53.40	Moulins	44.28
Montluçon	26.58	Montluçon	23.34	Montluçon	23.52
+ Vichy	613.21	+ Vichy	306.71	Vichy	116.42
Clermont	9.33	Clermont	9.19	Clermont	7.66
+ Roanne	83.64	+ Roanne	84.59	Roanne	1.38
Mâcon	0.15	Mâcon	0.19	Mâcon	1.21

**Figure 12. Gain de performance économique moyen par actif par scénario (à droite : Ouest Sud ; au centre : Médian Roanne ; à gauche : Médian Mâcon).**

Les scénarios se distinguent par les bassins de vie qu'ils privilégient :

- Le scénario Ouest-Sud semble plus favorable à Orléans, Vierzon, Châteauroux, Moulins, Vichy, Roanne ;
- Le scénario Médian Mâcon semble plus favorable à Bourges, à Nevers et aux villes de l'arc méditerranéen ;
- Le scénario Médian Roanne semble offrir une situation hybride ; il est plus favorable à Bourges, Nevers, Vichy, Roanne.

