

L'évaluation socioéconomique

Cours Magistral 5

Nicolas Coulombel

Université Paris Est. LVMT

✉ : nicolas.coulombel@enpc.fr

PLAN

1. Pourquoi l'évaluation ?
2. Principes généraux
3. De la rentabilité financière à la rentabilité socioéconomique
4. Le surplus des consommateurs
5. Le surplus du producteur
6. Dépenses et recettes publiques
7. Actualisation et risque
8. Externalités

Partie 1

Pourquoi l'évaluation ?

UNE AIDE À LA DÉCISION NÉCESSAIRE

Les projets de transport

- des décisions souvent largement irréversibles (pour les infrastructures)
- aux conséquences multiples et difficiles à cerner

Nécessité de choisir :

- **Hiérarchiser** : quelles priorités ?
- **Ordonnancer** : dans quel ordre ?
- **Sélectionner** : quelles options (mutuellement exclusives) ?

Exemples

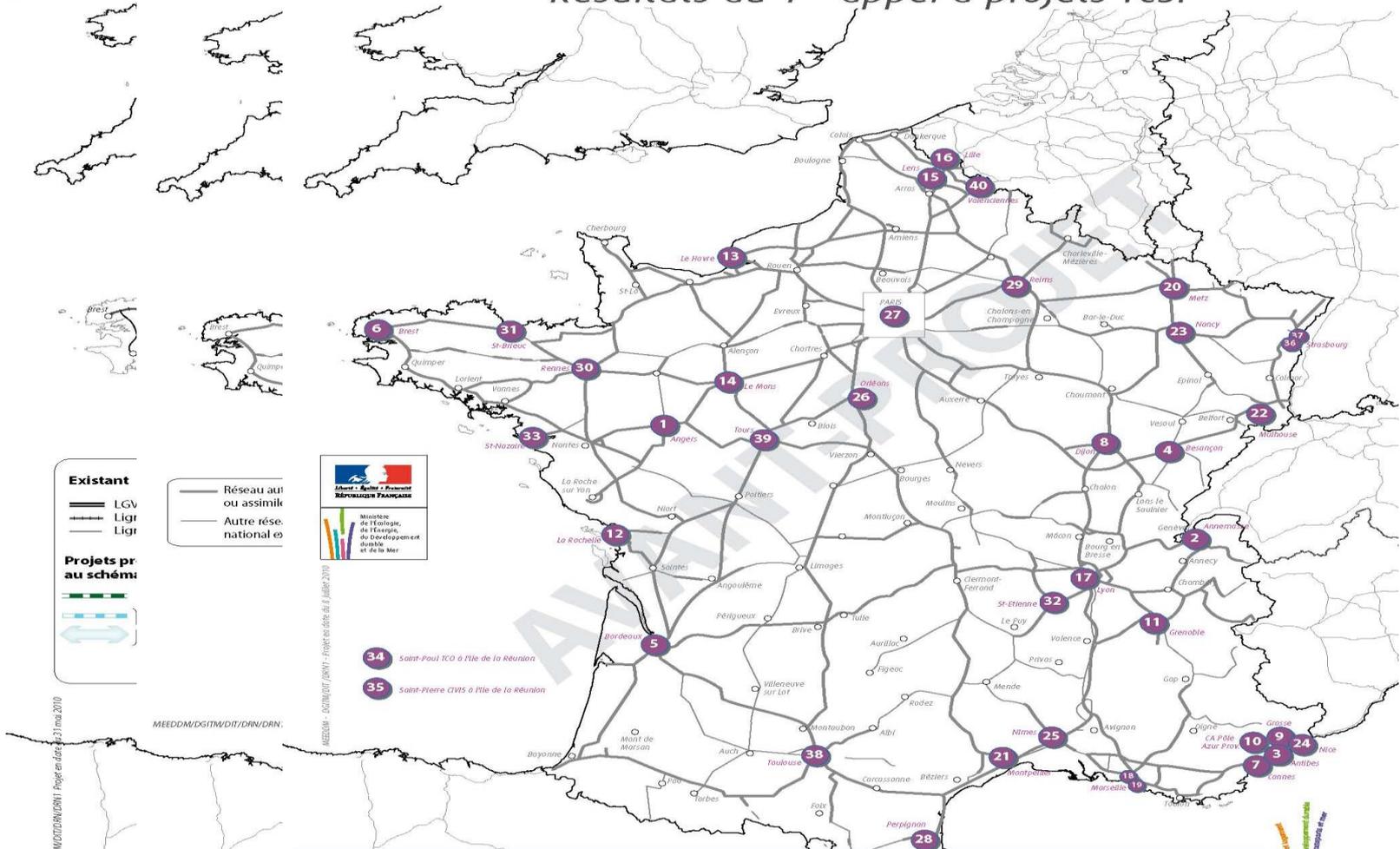
- Schéma National des Infrastructures de Transport (2011)
- Programmation pluriannuelle des infrastructures

Schéma national des infrastructures de transports

Soutien de l'État aux transports collectifs

Résultats du 1^{er} appel à projets TCSP

AVANT-PROJET EURO 2010



Existant

- L.G.V.
- Lign
- Lign

Projets pr au schéma

-
-

- Réseau aut ou assimilé
- Autre rése. national et



MEEDDM - SCOT/DT/DRN/DT/DRN/DRN - Projets en date du 2 juillet 2010

- 34 - Saint-Paul TCO à l'île de la Réunion
- 35 - Saint-Pierre CIVIS à l'île de la Réunion

1 - Angers Tramway	10 - CAPôle Azur Provence (Grasse) Pôle d'échanges gare ferroviaire/funiculaire	20 - Metz BHNS	32 - Saint-Etienne BHNS Electrique
2 - Annemasse BHNS	11 - Grenoble Extension ligne B du tramway	21 - Montpellier Ligne de tramway 3 PEB	33 - Saint-Nazaire BHNS
3 - Antibes - Sophia Antipolis BHNS / BHNS	12 - La Rochelle 1ère ligne tramway	22 - Mulhouse Extension du réseau de tramway	34 - Saint-Paul TCO BHNS (1ère tranche)
4 - Besançon tramway	13 - Le Havre Ligne D tram - 1ère phase	23 - Nancy BHNS (rolley) axe Nord Sud	35 - Saint-Pierre CIVIS Aménagements TCSP bus de 4 lignes (1ère tranche)
5 - Bordeaux 5 extensions des lignes de tramways A, B et C	14 - Le Mans Ligne E de tramway	24 - Nice Extension Ligne 1 du tramway	36 - Strasbourg Extensions ligne A tramway sur 2 branches
6 - Brest Ligne tramway Est-Ouest	15 - Lens Ligne 1 tram - Lens-Hénin	25 - Nîmes BHNS Axa Nord Sud	37 - Strasbourg Extension ligne D tramway
7 - Cannes BHNS	16 - Lille BHNS Roubaix Hem	26 - Orléans Tramway Cleo	38 - Toulouse Prolongement ligne E du tramway
8 - Dijon 2 lignes de tramway	17 - Lyon Sytral Extension ligne B du métro	27 - Paris Métro automatique	39 - Tours BHNS voie canal St-Mortory
9 - Grasse Funiculaire direct vers le centre ville	18 - Lyon Sytral Prolongation T1 et création C2	28 - Perpignan BHNS	40 - Valenciennes Ligne 2 trolley (1ère phase)
	19 - Marseille Extension L1 du tramway	29 - Reims 1ère ligne de tramway	
	19 - Marseille Extension L2 du tramway	30 - Rennes BHNS - ligne n°4	
	19 - Marseille Extension Ligne 2 du métro	31 - Saint-Brieuc BHNS	



Aménagement, entretien, exploitation
 Energie fossile
 Développement durable
 Pollution des milieux
 Infrastructures, transports

Présent pour l'avenir

Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat

www.developpement-durable.gouv.fr

Partie 2

Principes de l'évaluation

PRINCIPES GÉNÉRAUX

Analyse stratégique

- Analyse territoriale
- Analyse fonctionnelle
- **Scénario de référence**

Evaluation des options

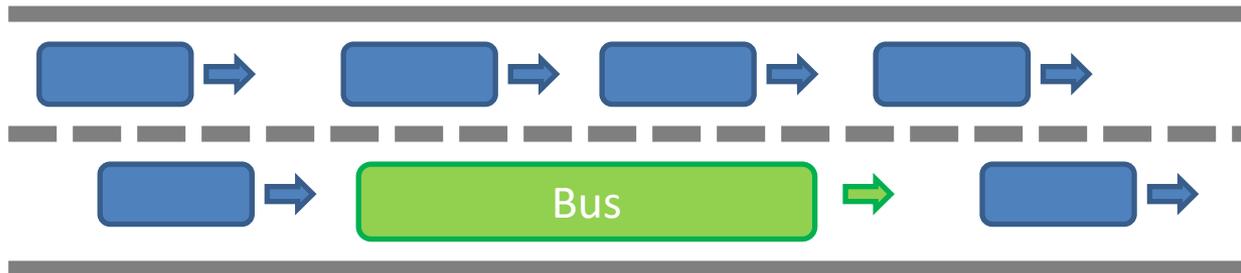
- Notion d'**option de référence**, d'**option**, de **variante**
- Analyse des effets
 - Analyse qualitative et quantitative
 - Analyse monétarisée

Cartographie des risques

Mise en œuvre

PRENONS UN EXEMPLE

Une avenue avec beaucoup de trafic, de voitures, de congestion, de bruit et de pollution



Projet : BHNS sur voie de droite, offre renforcée

OBJECTIF DE L'ÉVALUATION

L'évaluation a plusieurs objectifs :

- montrer que le projet accomplit bien les objectifs auquel il répond
- contribuer à démontrer son opportunité
- permettre de prévoir et de faire connaître ses effets
- aider à affiner le projet au fur et à mesure de son élaboration

Mais elle n'est pas un outil d'élaboration des projets

ANALYSE STRATÉGIQUE

On identifie les enjeux du territoire, ses enjeux, ses problèmes →
établissement d'un diagnostic.

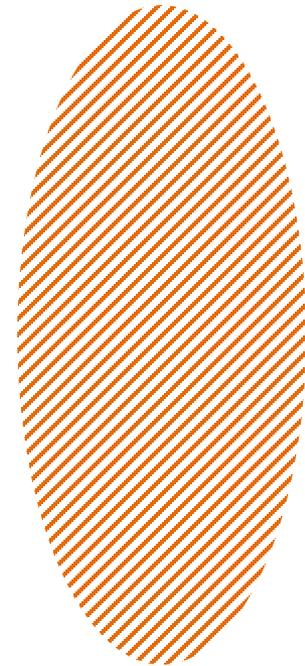
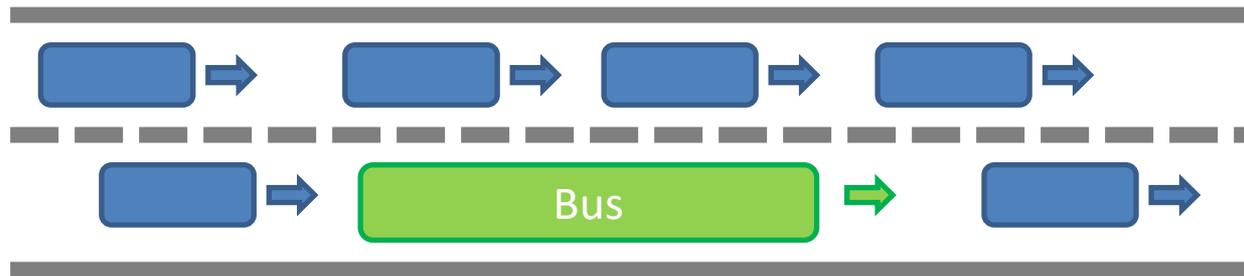
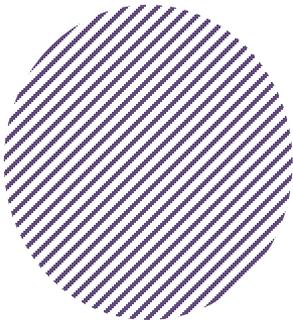
Deux grandes phases : l'analyse territoriale, l'analyse fonctionnelle

- **Analyse territoriale** : état des lieux, dynamiques, prospective, mobilité (économie, démographie, géographie, etc.)
- **Analyse fonctionnelle** : diagnostic de l'offre et de la demande de transport, état des trafics, des réseaux (analyse multi-échelles, multimodale)
- Constitution de scénarios

NOTRE EXEMPLE ?

Analyse territoriale?

Analyse fonctionnelle?



NOTRE EXEMPLE

Analyse territoriale :

- évolutions démographiques
- évolutions économiques
- évolutions territoriales (dynamiques, choix d'aménagement)
- évolutions de la demande
- [quelles inconnues?]

Analyse fonctionnelle :

- augmentation du nombre et de la longueur des déplacements
- taux de remplissage croissant (covoiturage, coût carburant)
- mais augmentation trafic, donc embouteillages
- gêne des services TC, baisse de la fiabilité et de la vitesse
- pas d'augmentation du report modal
- perte générale et forte de performance du transport pour le transport d'échange et de transit

LES SCÉNARIOS

les évaluations font l'objet de beaucoup d'incertitudes. Les incertitudes peuvent être liées :

- *au contexte socio-économique* : croissance démographique, richesse, coût carburant, structure économie (circuits courts)...
- *à l'évolution des comportements* : covoiturage, motorisation/peak car, télétravail, économie fonctionnalité...
- *aux technologies* : voitures autonomes, électriques, hydrogènes, drones, telecoms...
- *à l'évolution des réseaux de transport autres* (les autres modes)

On gère ces hypothèses en faisant des scénarios (PIB haut/bas, crise, pétrole haut/bas, etc.)

SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE

Un scénario sera choisi comme le **scénario de référence** :

- il décrit les hypothèses exogènes
- il est considéré comme le + probable par l'évaluateur

C'est le scénario central dans la suite de l'analyse

NOTRE EXEMPLE

Situation actuelle :

- longueur corridor = 10 km
- demande de transport = 100 000 voyageurs/an

Scénario de référence :

- croissance de la demande : stable
- croissance coût kilométrique : stable
 - coût pétrole compensé par efficacité énergétique

croissance du PIB par tête : 0,5%/an

ÉVALUATION DES OPTIONS

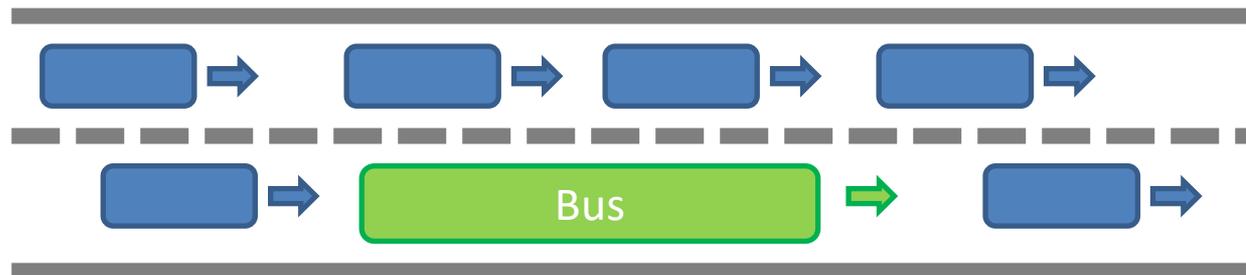
Les projets sont des décisions : on les fait, ou non, et il faut choisir une option.

Parmi les options, il y a toujours celle de ne « rien » faire (ne pas décider c'est toujours décider). C'est l'**option de référence** : l'option la plus probable si on ne fait pas de projet

- investissements de maintenance ou de réparation de base
- stabilisation ou modification modérée (à la ↑ ou ↓) de l'offre TC
- ...

NOTRE EXEMPLE

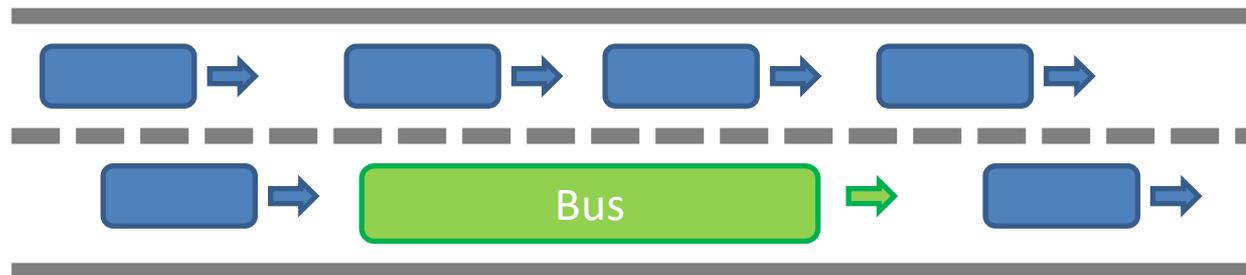
Quelle est l'option de référence?



Que va-t-il se passer?

NOTRE EXEMPLE

L'option de référence est de ne rien changer, mais d'augmenter légèrement l'offre TC, pour accueillir l'afflux de demande



Conséquences : embouteillages, perte de temps, de régularité, pollution, accidents, perte de part modale TC, étalement pointe

OPTIONS ET VARIANTES

Dans un projet, on distingue en générale des options et des variantes

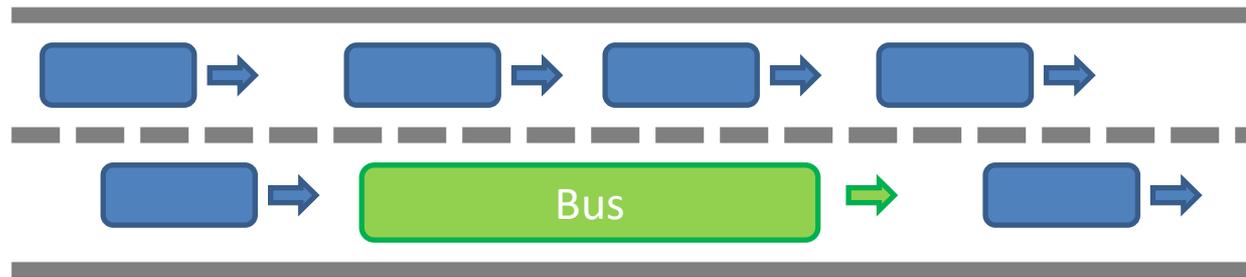
Les **options** sont des types de projets distincts soit

- par leur principe : optimisation sur place vs construction, bus vs tram vs metro
- par leur géographie : villes ou zones desservies...

Les **variantes** sont des variations des options

- changement de phasage
- changement local de tracé (sans variation de la desserte)
- fréquence/longueur de rame...

NOTRE EXEMPLE



Quelles options peut-on imaginer?

Quelles variantes peut-on imaginer?

ANALYSE DES EFFETS DES OPTIONS

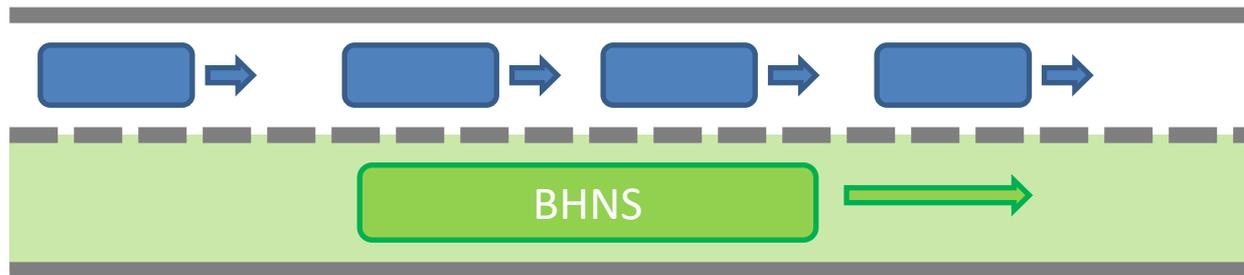
L'analyse des effets vise à déterminer si les options permettent de répondre aux objectifs du projet, c'est-à-dire de répondre aux enjeux identifiés dans l'analyse stratégique

Plus précisément, elle combine:

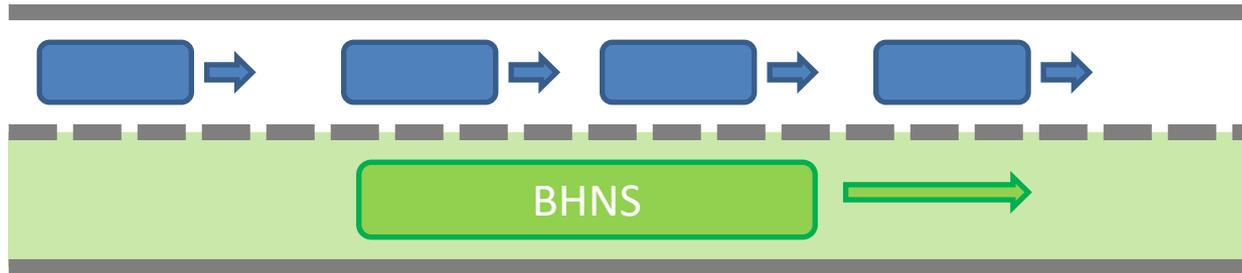
- L'analyse quantitative et qualitative des effets
- Le calcul socio-économique

NOTRE EXEMPLE

Quels effets attend-on du projet?



NOTRE EXEMPLE



Une amélioration forte des conditions de transport en TC

Une baisse forte du trafic routier

Une amélioration globale des conditions de transport

Une baisse des impacts sur les riverains

Une amélioration de la sécurité

Un moindre impact environnemental

Une qualité de vie améliorée

ANALYSE QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DES EFFETS

On identifie les différents effets attendus, et on évalue comment chaque option et variante y répond. La méthode peut être:

- **qualitative**
 - soit parce que les données manquent;
 - soit parce que les modèles n'existent pas ou sont incertain.
 - On fonctionne alors à dire d'expert, sur la base des connaissances existantes, ou de situations comparables (ex: effets économiques, sociaux, d'usage du sol)
- **quantitative**
 - en s'appuyant sur des indicateurs : fréquence, temps de parcours, accessibilité...
 - en mettant en œuvre des modèles : prévision de trafic, accidentologie, pollution...

ANALYSE MONÉTARISÉE

L'implémentation d'un projet a un effet sur la collectivité, qu'on cherche à monétariser grâce à une méthode précise : le **calcul socio-économique**.

Le calcul socio-économique produit une évaluation intégrée du projet

- par opposition à l'analyse des effets qui ne raisonne que critère par critère
- mais bien qu'intégrée, l'évaluation demeure partielle
 - de nombreux effets ne sont pas pris en compte

Sa mise en œuvre repose sur une méthodologie bien définie.

MISE EN ŒUVRE DE L'ÉVALUATION

Par exemple, pour les projets de transport, les maîtres d'ouvrage dépendant du MEDDE doivent appliquer :

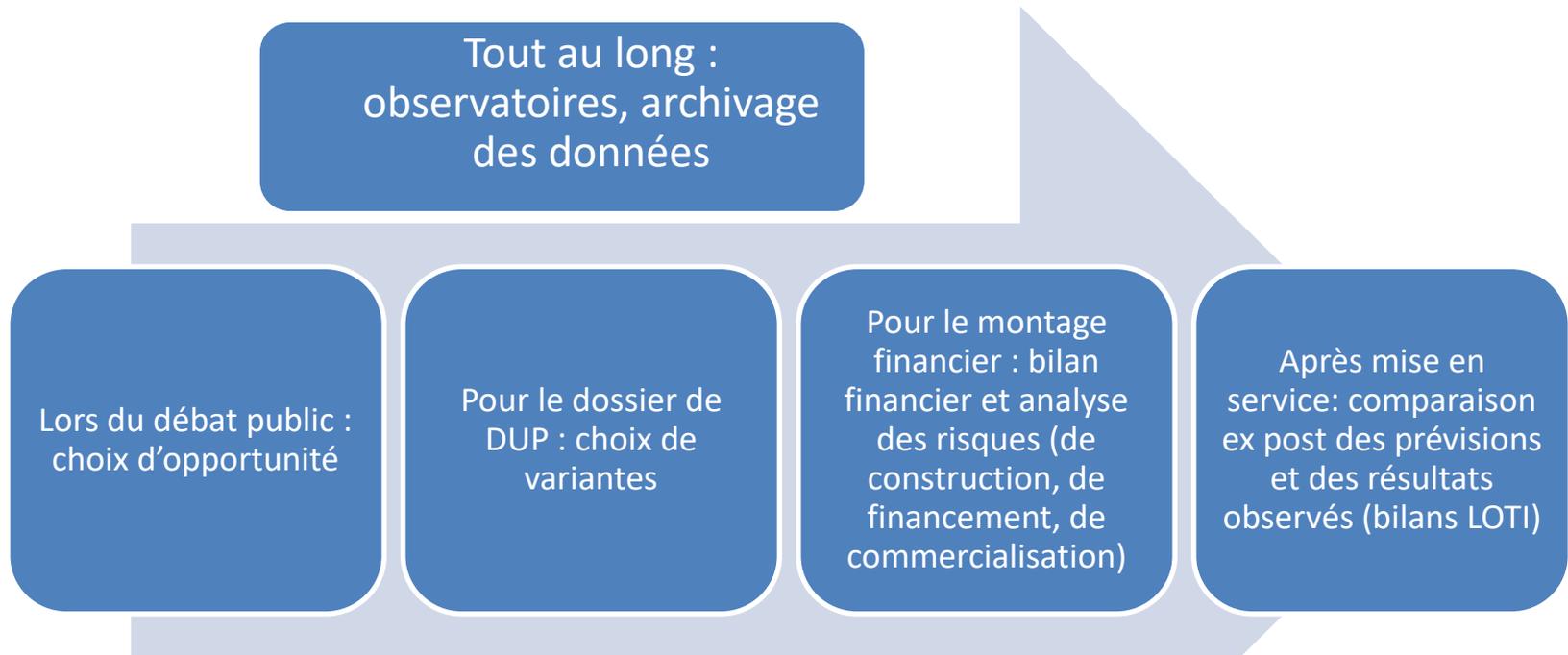
- l'instruction du ministre du 16 juin 2014 (les grands principes)
- la note technique du 27 juin 2014 (détaille l'instruction, fixe le vocabulaire)
- les « fiches-outil », du 7 octobre 2014 avec leurs actualisations (valeurs tutélaires, scénario de référence...)

L'évaluation est la **responsabilité du maître d'ouvrage**

- Le MO s'appuie généralement sur un prestataire
 - bureau d'étude public ou privé
- Il peut s'appuyer sur un conseil scientifique

MISE EN ŒUVRE DE L'ÉVALUATION

L'évaluation est mise en œuvre sur toute la durée de la vie du projet



MISE EN ŒUVRE DE L'ÉVALUATION

Il y a toujours un très fort **enjeu de transparence/pédagogie**, compliqué à gérer

Il faut pouvoir satisfaire:

- les experts : qui veulent tous les détails mais bien expliqués
- les citoyens : auxquels on veut adresser des choses (qu'on pense) pédagogiques
- les parties prenantes à la réalisation de l'évaluation qui veulent que tout soit parfait

Dans des délais parfois très contraints!

Partie 3

De la rentabilité financière à la rentabilité socioéconomique

L'analyse coûts - bénéfices

LA LOGIQUE FINANCIÈRE

On se met à la place du producteur (public ou privé) des services de transport

- il fournit l'infrastructure et gère les opérations

Ce producteur dispose d'une enveloppe financière donnée et doit choisir parmi N projets concurrents

- chaque projet varie en termes de CAPEX/OPEX et recettes
- et peut varier de par le secteur concerné (possibilité de projets hors transport)

Le producteur choisira le projet qui lui rapporte **la plus grande rentabilité financière**

Deux principaux indicateurs de rentabilité financière existent :

- **Valeur Actualisée Nette (VAN)** de l'investissement (en €)
- **Taux de Rentabilité Interne (TRI)**
- également, taux de rentabilité immédiate (ratio entre bénéfices immédiats et montant de l'investissement) ou durée du retour sur investissement

FORMULE

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=0}^D \frac{B_i - C_i}{(1+r)^i} + \frac{VR}{(1+r)^{D+1}}$$

I_0 : investissement initial
 D : durée de vie du projet
 B_i : bénéfices annuels
 C_i : coûts annuels
 VR : valeur résiduelle de l'investissement
 r : taux d'actualisation

La Valeur Actualisée Nette (VAN)

- $VAN > 0 \Rightarrow$ le projet est rentable (flux de bénéfices nets $>$ investissement)
- permet de sélectionner les projets : par $VAN \downarrow$ (# projets limité) ou par $VAN/I_0 \downarrow$ (budget limité)

Le Taux de Rentabilité Interne (TRI) = taux d'actualisation qui annule la VAN

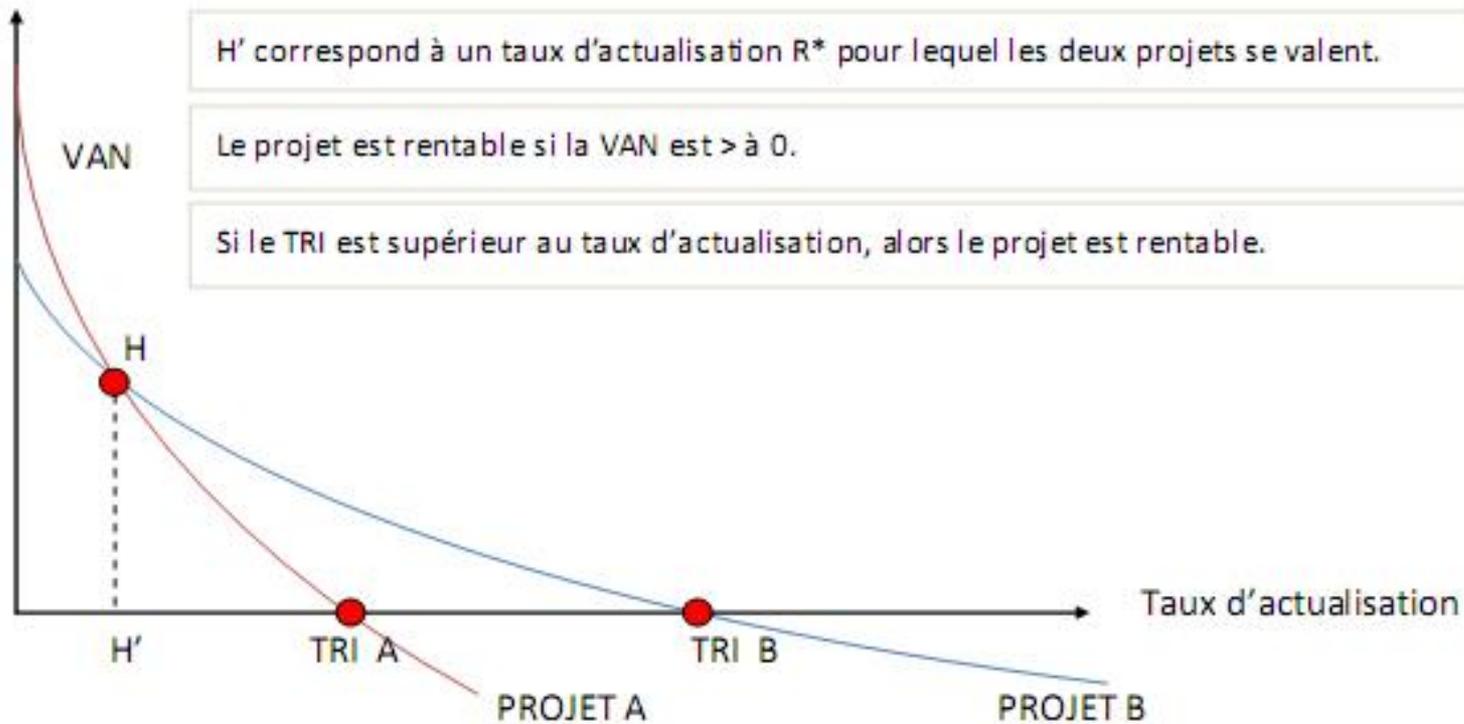
- + le projet est rentable, + son TRI va être élevé
- « bon » projet si $TRI > r$
- mais TRI pas toujours bien défini et classement par TRI n'est pas évident

Remarques :

- si on considère les effets socio-économiques : TR Economique (TRE) et VAN SE
- on va centrer nos propos suivants sur les modes ferroviaires

COMPARAISON TRI & VAN

Un meilleur TRI ne signifie pas une meilleure VAN !



source: Wikipedia

LA LOGIQUE SOCIO-ÉCONOMIQUE

L'ANALYSE COÛTS - BÉNÉFICES

Objectif: aider à sélectionner (et mieux concevoir) des projets/politiques de transport en les évaluant de façon cohérente

- concept central: **consentement à payer**
 - ⇒ les consommateurs/entreprises savent le mieux ce qui est bon pour eux
- identification d'améliorations de Pareto (potentielles)

Champ: large spectre d'applications

- typiquement des investissements de long terme
- mais aussi: maintenance, normes de pollution, péage urbain, subventions aux TC...

Se concentre sur **effets économiques** ⇒ pas un mécanisme de décision complet

- mais peut incorporer de nombreux effets souvent considérés comme non-économiques
 - réchauffement climatique, qualité de l'air, bruit, biodiversité...

L'ANALYSE COÛTS - BÉNÉFICES :

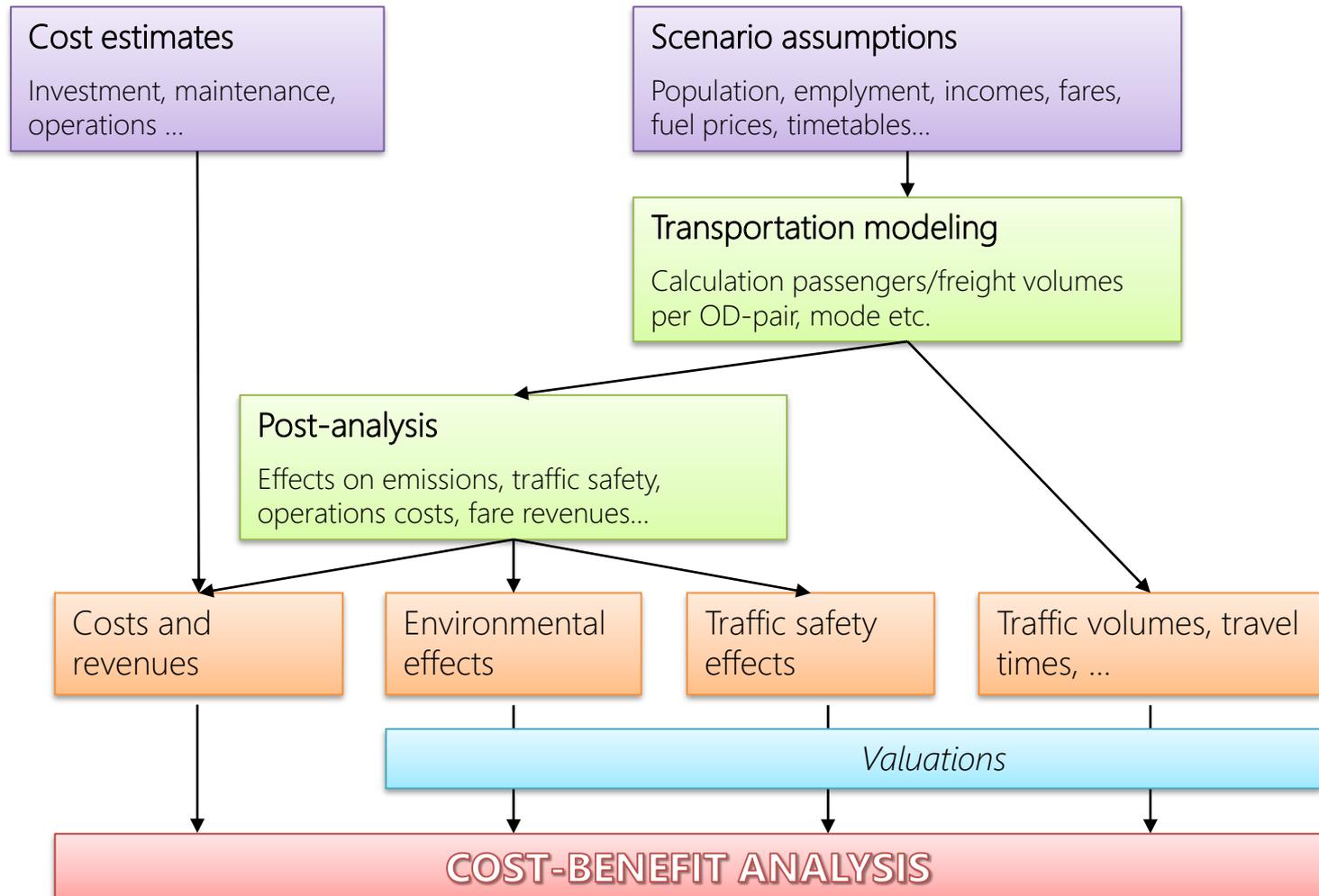
UNE STRUCTURE POUR SYNTHÉTISER COÛTS ET BÉNÉFICES

Valeur actualisée en 2010 en Mds€ 2010	GPE : Ligne 15 - Sud	
	sans COFP	avec COFP
Valorisation des effets transports		5,2
Fiabilité		0.3
Confort		0.2
Bénéfices environnementaux		1.1
Effets d'agglomération		1.4
Effets directs de réallocation		1.6
Valorisation des nouveaux emplois		3.0
Bénéfices totaux		12.8
Divers (péages, taxes carburant...)		-0.2
CAPEX + OPEX	-5.7	-7.4
VAN	6.9	5.2
VAN / € invested	1.54	0.89
TRI	8.4%	6.7%

- + transparence
- + vision globale et structurée
- + permet de comparer les ordres de grandeur
- + permet de comparer différents investissements ou politiques de façon homogène

- valorisations relatives des différents effets sujettes à débat
- pas d'analyse de redistribution/équité
- certains effets peuvent manquer ou être très mal estimés

SCHÉMA DE SYNTHÈSE



EFFETS (GÉNÉRALEMENT) INCLUS DANS UNE ACB TRANSPORT

Surplus des consommateurs: bénéfices des usagers pour les voyageurs et le fret

→ *se transforme à long terme en croissance, plus-values foncières...*

Surplus du producteur : pour les opérateurs de transport en commun

→ *la plupart des autres entreprises sont supposées opérer à profit nul*

Coûts d'investissement et de maintenance

Dépenses et recettes publiques (ex: taxes)

- dont Coût d'Opportunité des Fonds Publics (COFP) & Prix Fictif de Rareté des Fonds Publics (PFRFP)

Externalités

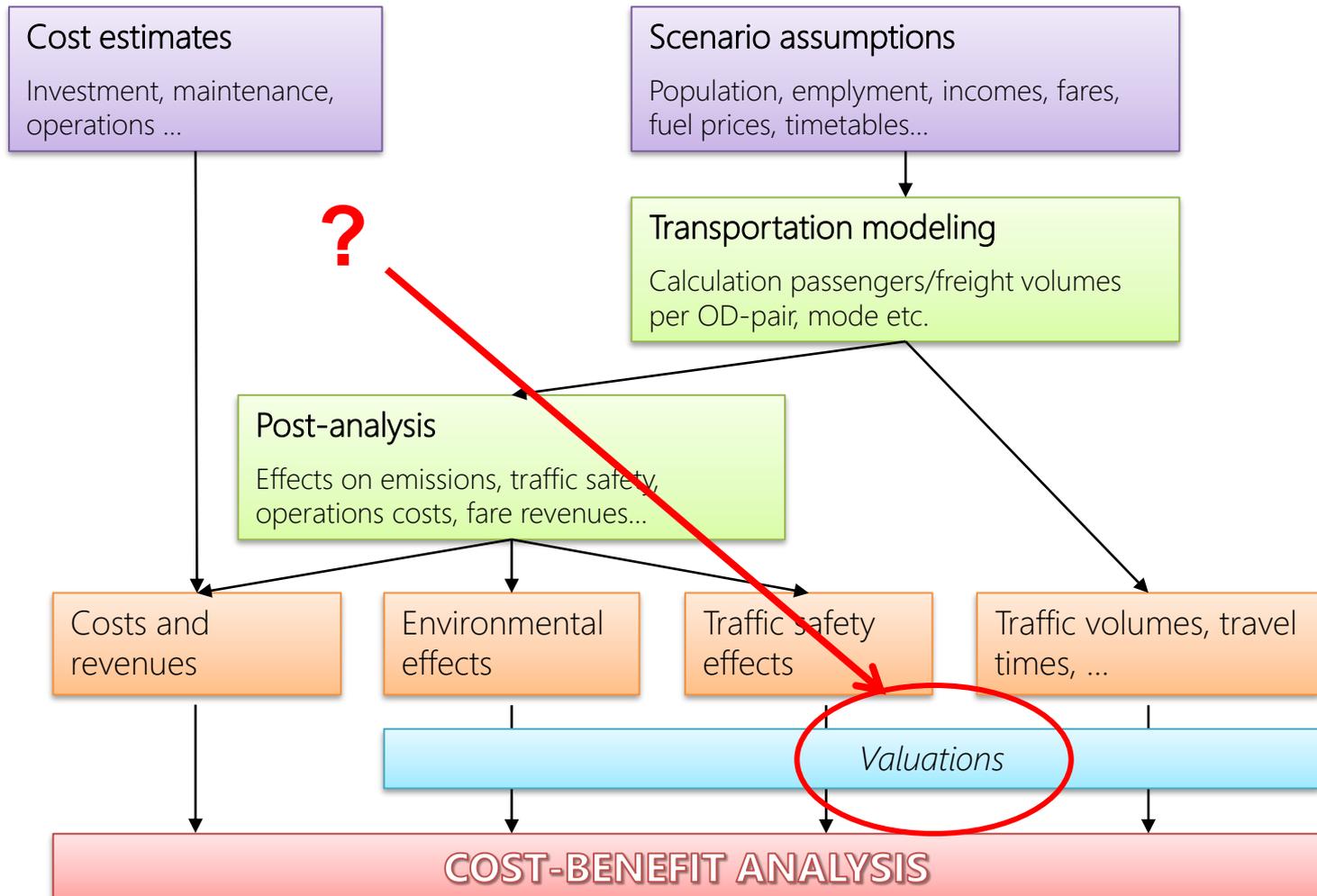
- émissions liées à la santé (pollution locale, bruit)
- émissions de GES
- sécurité routière (morts, blessures, dégâts matériels)

UNE INTÉGRATION PROGRESSIVE

	1961/62	1964	1970	1974	1980	1986	1995/1998	2004/2005	2014
Valeur du temps	X	X	X	X	X	X	X valeurs modales	X voyr.h U : ldf*motif IU: modes*dce qualité sce	X IU * motif fiabilité confort TC
Sécurité	X	X	X	X	X	X introdn BG/BL	X	X 2/3 pour route	X
Confort AR		X	X	X	X	X	X	X	X
CO2							X	X	X
Pollution							X U vs IU par mode	X U diffus U dense	X U très dense U moyen
Bruit							X indiv/niveau	X logt/niveau	X veh.km type peuplt * niv. trafic
Effets amont									X

Le rapport Quinet (2013) détaille toutes ses valeurs tutélares (notamment dans les contributions du Tome 2, à lire !)

QUELLES VALORISATIONS UTILISER ?



QUELLES VALORISATIONS UTILISER ?

ACB: valorisations des citoyens

- fonctionne comme des prix de marché. Ex: temps échangé contre salaire ou localisation
- les parties prenantes peuvent avoir des valorisations différentes! (utilisé en analyse multicritères)

Valorisations révélées à travers comportements observés (ou préférences déclarées)

- ex: valeur du temps → choix entre modes rapides/chers vs modes lents/économiques
- valeurs des émissions et de la sécurité plus incertaines

Des valorisations « moyennes » le plus souvent utilisées dans la pratique

- effets revenus souvent effacés (souci d'équité)
- autres sources d'hétérogénéité sont souvent également effacées (trop?)

Exception: valorisation du carbone

- plusieurs logiques à l'œuvre – *in fine* généralement un choix politique

Partie 4

Le surplus des consommateurs

Bénéfices des usagers

BÉNÉFICES DES USAGERS: LE SURPLUS DES CONSOMMATEURS

Supposons un changement des conditions de transport

- temps de parcours, coût de déplacement, confort, fréquence...

Le **surplus des consommateurs** (CS pour *consumer surplus*) serait (un peu près) ce que les usagers seraient prêts à payer au maximum pour ce changement (de sorte que leur utilité resterait inchangée)

Intuitivement, le CS est :

- le changement de CG (exprimé en termes monétaires) pour les usagers existants
- plus les bénéfices pour les autres usagers (induits, ou impactés indirectement)

DÉFINITIONS

c_m : coût généralisé du bien m

- marché m → options de déplacement: combinaisons de destination, mode, période de la journée,..., pour un segment donné de voyageurs
- exemple: $c_m = fare_m + \alpha_m^T T_m + \alpha_m^W W_m + dest. quality_m$
 - un projet peut changer les paramètres (ex: confort change)

$D_m(\mathbf{c})$: demande pour le bien m

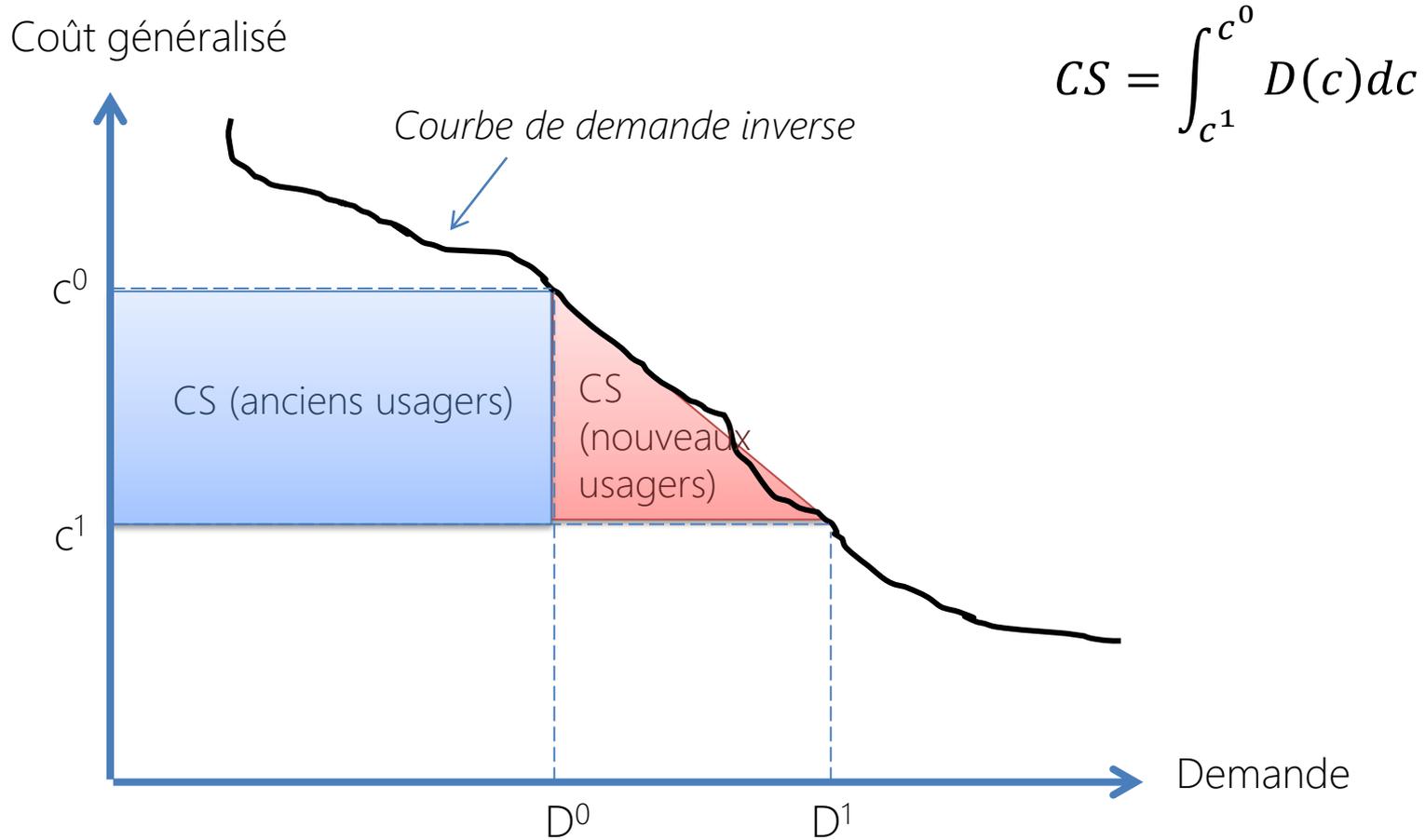
- peut dépendre du coût généralisé des autres options

Le CS pour un changement de \mathbf{c}^0 à \mathbf{c}^1 est :

$$CS = \sum_m \int_{c_m^1}^{c_m^0} D_m(c) dc$$

(en supposant des élasticités croisées de la demande symétriques)

ILLUSTRATION



CS : REMARQUES

Le CS est nul pour les biens pour lesquels le CG ne change pas

- très important en pratique!

Le CS capture les bénéfices pour les usagers anciens ET nouveaux

- le CS ne dépend pas d'où viennent les nouveaux usagers!
- souvent trop d'attention sur les "nouveaux déplacements"

APPROXIMATION: LA "RULE-OF-HALF" (ROH/ROTH)

$$CS \approx \sum_m \frac{D_m^0 + D_m^1}{2} (c_m^0 - c_m^1) = \sum_m \overset{\text{CS anciens usagers}}{D_m^0} (c_m^0 - c_m^1) + \sum_m \overset{\text{CS nouveaux usagers}}{(D_m^1 - D_m^0)} \frac{c_m^0 - c_m^1}{2}$$

La *rule-of-half* est une bonne approximation si D un peu près linéaire

- exception : **nouvelles alternatives** (" c_m^0 infini") → utiliser le *logsum*

Avantages:

- uniquement besoin de connaître les demandes initiales et finales (observables!)
 - pas besoin d'estimer la fonction de demande (et les élasticités croisées)
- si CG est linéaire, les termes demeurant constants s'annulent
 - ex: si seuls temps de parcours changent, pas besoin de connaître les prix des billets

LE CS COMME MESURE D'ACCESSIBILITÉ

Soit $\{c_m^0 + \varepsilon_m\}$ les CG vers les destinations m

- on suppose que les ε_m suivent une distribution de Gumbel

L'accessibilité devient une *logsum*:

$$acc = -\frac{1}{\lambda} \ln \left(\sum_m e^{-\lambda c_m^0} \right)$$

- λ = paramètre de sensibilité

On peut montrer que le *logsum* est la mesure d'accessibilité naturelle au sens large (à des transformations près)

- vérifie un ensemble d'axiomes naturels

LE CS COMME MESURE D'ACCESSIBILITÉ

Considérons une variation du CG: $\Delta_m = c_m^1 - c_m^0$

$$\begin{aligned}
 \Delta acc &= acc^1 - acc^0 = -\frac{1}{\lambda} \ln \sum_m \exp(-\lambda c_m^1) + \frac{1}{\lambda} \ln \sum_m \exp(\lambda c_m^0) = \\
 &= -\frac{1}{\lambda} \ln \sum_m \exp(-\lambda c_m^1) + \frac{1}{\lambda} \ln \sum_m \exp(-\lambda(c_m^1 + \Delta_m/2)) \\
 &\quad - \frac{1}{\lambda} \ln \sum_m \exp(-\lambda(c_m^0 - \Delta_m/2)) + \frac{1}{\lambda} \ln \sum_m \exp(\lambda c_m^0) = \\
 &\approx \dots = \sum_m P_m^1 \frac{\Delta_m}{2} + P_m^0 \frac{\Delta_m}{2} = \sum_m \frac{(P_m^1 + P_m^0)}{2} \Delta_m \quad \Rightarrow \text{Rule-of-half!}
 \end{aligned}$$

Par conséquent le CS et la ROH ne correspondent pas justes aux "gains de temps"

- ils capturent le changement complet de l'accessibilité
- ... à condition que les GC soient définis de façon appropriée
 - ex: capturent la qualité des destinations si elle change

À QUI REVIENNENT LES BÉNÉFICES À LONG TERME ?

Si prix flexibles, les voyageurs ne conservent pas les bénéfices à long terme

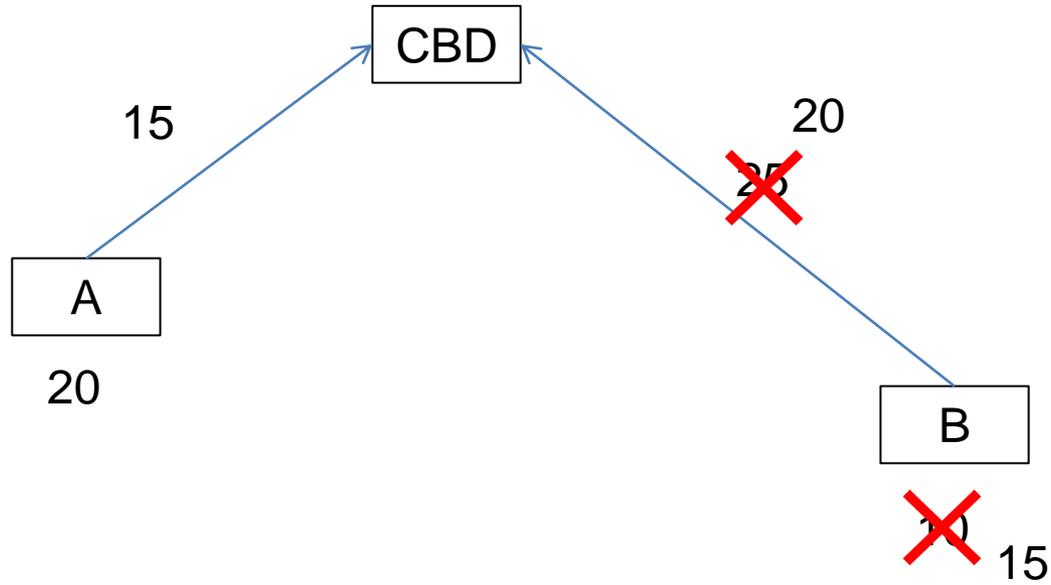
Les bénéfices se convertissent en une hausse :

- des prix immobiliers,
- des salaires,
- des prix des biens,
- des profits des entreprises et des opérateurs de transport...

Qui profite des bénéfices *in fine* dépend de qui contrôle les ressources rares (impossible à calculer en pratique)

Le plus souvent les bénéfices des projets/politiques de transport reviennent à long terme aux propriétaires immobiliers

EXEMPLE: CAPITALISATION DU CS DANS LES VALEURS FONCIÈRES



Partie 5

Le surplus du producteur

Bénéfices ou déficits de l'opérateur

SURPLUS DU PRODUCTEUR

Les **variations des bénéfices** des entreprises fait aussi partie du calcul socioéconomique

On ne s'intéresse pas aux entreprises en tant que telles, mais en ce qu'in fine leurs pertes et profits reviennent aux personnes!

Hypothèse standard: les entreprises opèrent à **profit nul**

- seule situation stable à long terme (sous condition CPP avec libre entrée)
- implique que bénéfices sociaux = baisse des coûts de transport
- pas vrai sous certaines conditions: par exemple pouvoir de monopole spatial

Exception notoire: les **opérateurs de transport**, en particulier ceux de TC

- les opérateurs de TC opèrent souvent à perte \Rightarrow besoin de **subvention**

INVESTISSEMENT INITIAL

Donnée essentielle du calcul, de différentes natures :

- infrastructures (physiques et techniques)
- matériel roulant

L'effort financier est fonction des modes, de la technologie retenue, du choix du tracé (en particulier des ouvrages d'art), de risques géologiques, des modalités de financement...

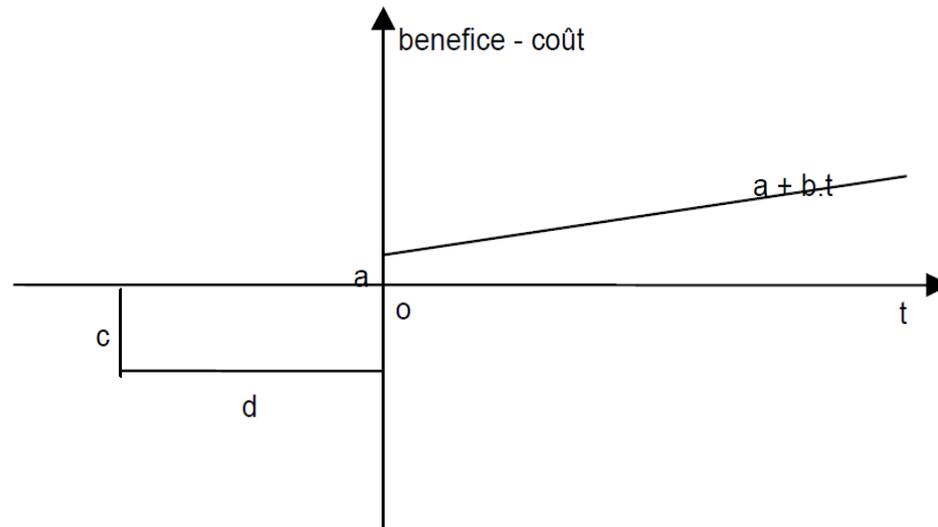
Précisions :

- il faut normalement appliquer un **coût d'opportunité du capital** (immobilisation des ressources), souvent fixé à 5%
- si bon entretien du capital, il existera une **valeur résiduelle** à la fin du projet
- idéalement, on prend aussi en compte les **investissements éludés**

INVESTISSEMENT INITIAL

Lorsque l'investissement initial est réalisé sur plusieurs années, il convient de l'annualiser et de l'intégrer ainsi dans le calcul de la VAN (avec le taux d'actualisation noté ici α) :

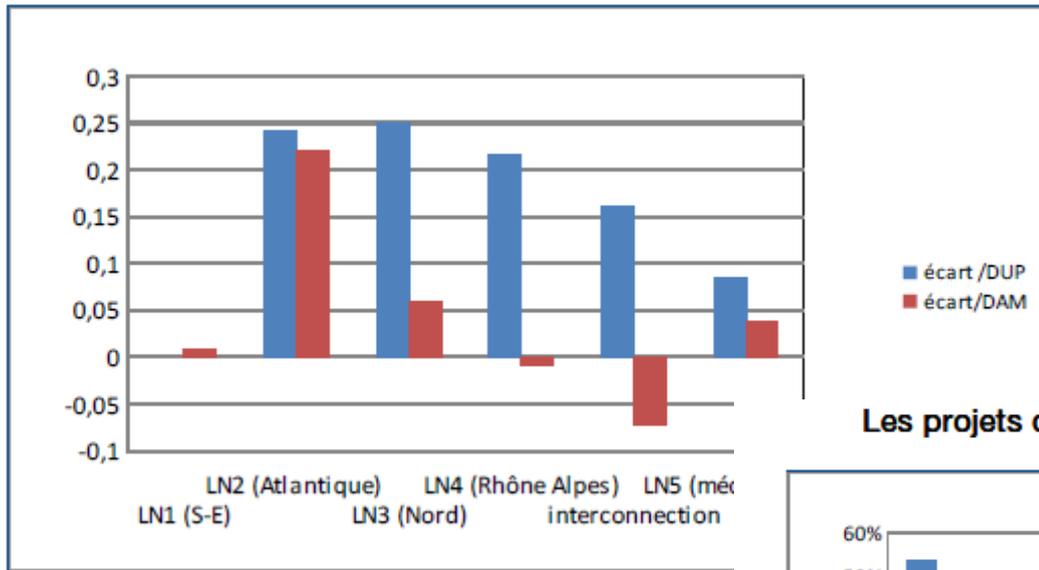
Figure 1: La fonction bénéfice - coût



$$VAN_f = \int_{-d}^0 -c.e^{-\alpha.t} .dt + \int_0^T (a + b.t).e^{-\alpha.t} .dt$$

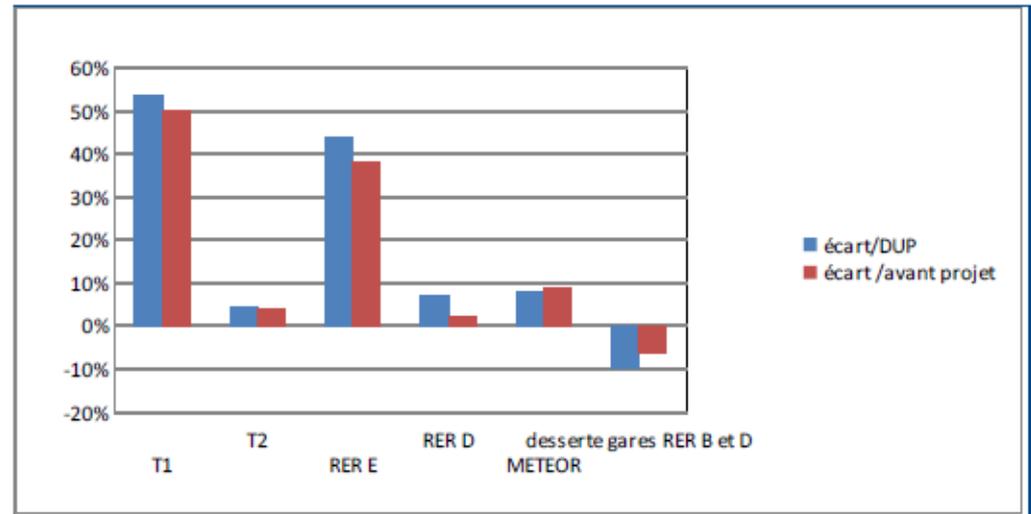
COÛTS FIXES : UN « EFFET FLYVBJERG »

Les projets LGV



Un écart de 20% avec la DUP

Les projets de transports collectifs urbains en Île-de-France



Source : *Dossiers bilans LOTI*

Source : *Dossiers bilans LOTI*

COÛTS VARIABLES

Ces coûts sont également de diverses natures :

- **exploitation** (énergies, salaires, matériels)
- **entretien** (infrastructures, matériel roulant)

Les coûts variables sont exprimés soit en €/pax, soit en €/pkm (pour les voyageurs)

Idéalement il faudrait considérer les **coûts marginaux**

- très compliqué, en pratique on a plutôt recours aux **coûts moyens**

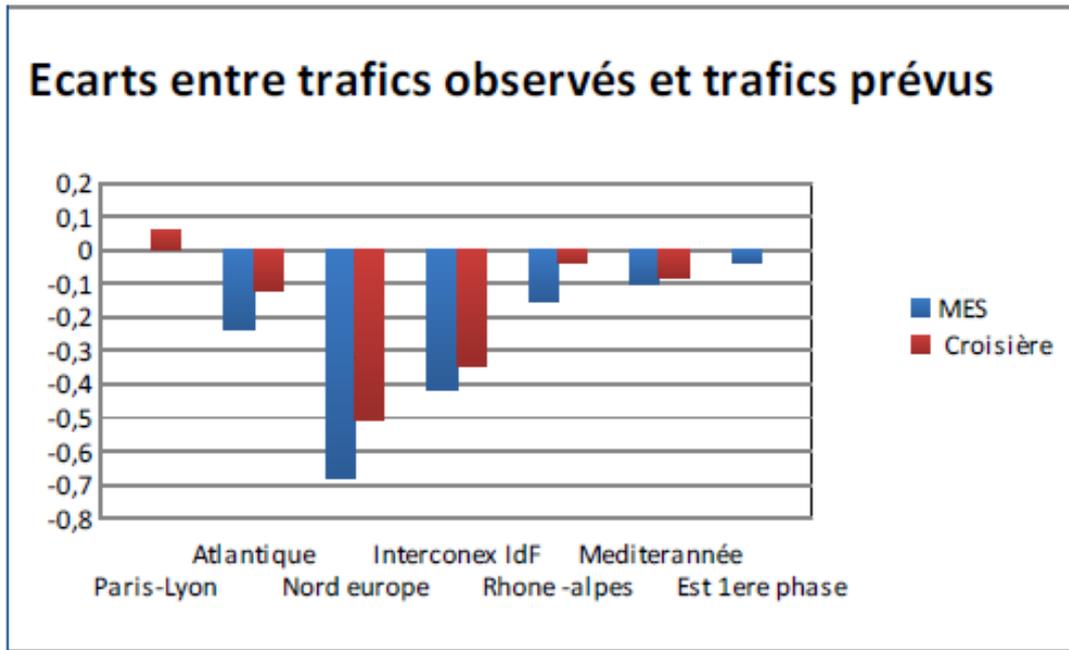
Etant donnée coûts fixes, coûts variables sont souvent caractérisés par des **économies d'échelle**

Il faut donc **anticiper correctement le niveau de trafic**

- « **modèles en 4 étapes** » à utiliser/tester/améliorer (primordial !)

Ce dernier point est également central pour l'**option de référence** : quelle demande sans projet ?

DES MODÈLES DE TRAFIC PERFECTIBLES



Erreur moyenne de 25%

Source : *Dossiers bilans LOTI*

Notamment due à la concurrence modale

Paramètres explicatifs des écarts de trafics (réalisation/prévision)

	LN2 (Atlantique)	LN 3 (Paris Nord de France)
Croissance économique (effet CFM)	5%	-4%
Concurrence route (effet prix carburants)	54%	60%
Concurrence avion (effet prix aérien/fer 1ere classe)	3%	-
Concurrence fer (effet prix ferroviaire)	38%	44%

Source : *Dossiers bilans LOTI*

TARIFICATION & RECETTES

En cas de forts coûts fixes (ex : fer), situation de **monopole naturel** :

- **économies d'échelle**: une seule entreprise est + efficace que plusieurs entreprises
- empêche la libre-entrée sur le marché (qui n'est donc pas en CPP)

Le monopoliste pourrait fixer les prix/quantités pour maximiser son profit $\Pi(q) = P(q)q - C(q)$

A l'équilibre du monopole :

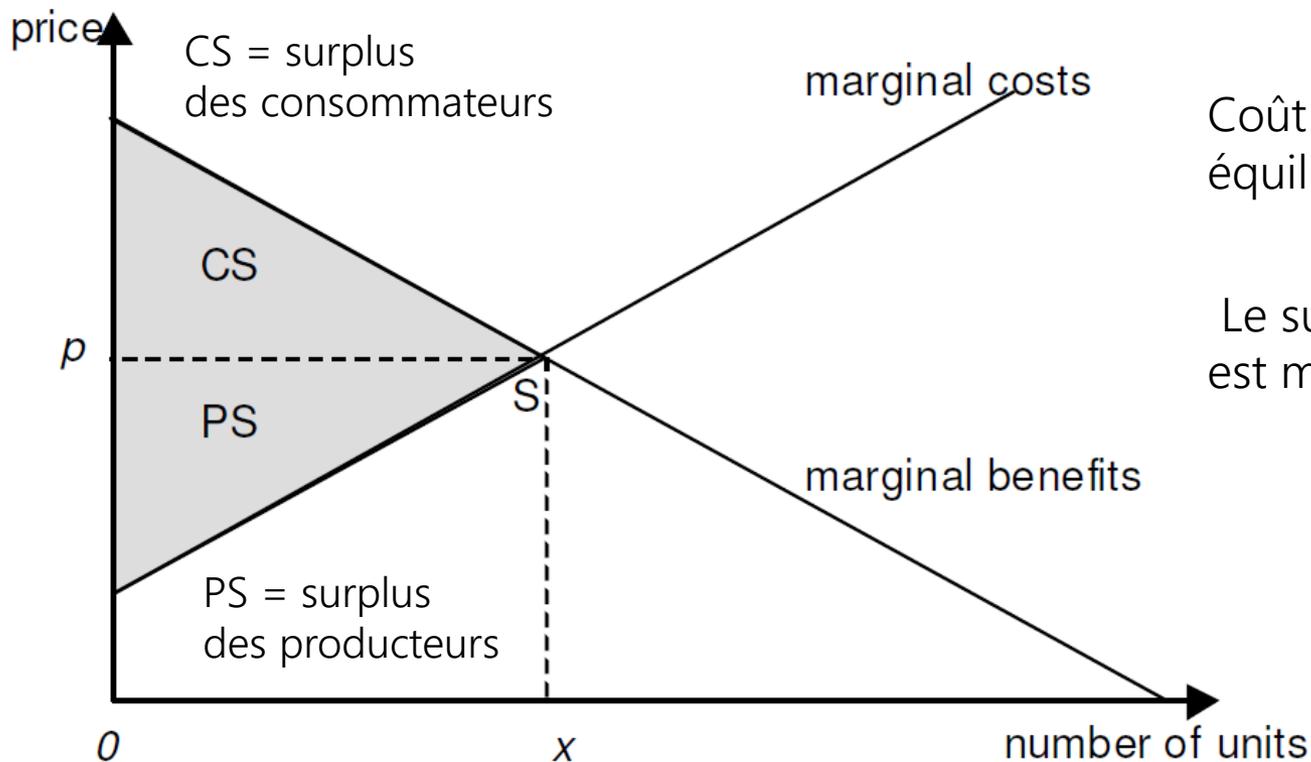
$$P'(q)q + P(q) = C'(q)$$

- prix est tel que profit marginal = coût marginal
- problème : profit marginal < fonction de demande $P(q)$ (= bénéfice marginal des consommateurs)

Conséquence: monopoliste **produit moins** que quantité d'équilibre de CPP, et vend à **prix supérieur**

Justifications à la **fourniture publique** des services de transport ou à **régulation des prix + subventions**

CAS 1: CONCURRENCE PURE ET PARFAITE



Coût marginal croissant,
équilibre en S

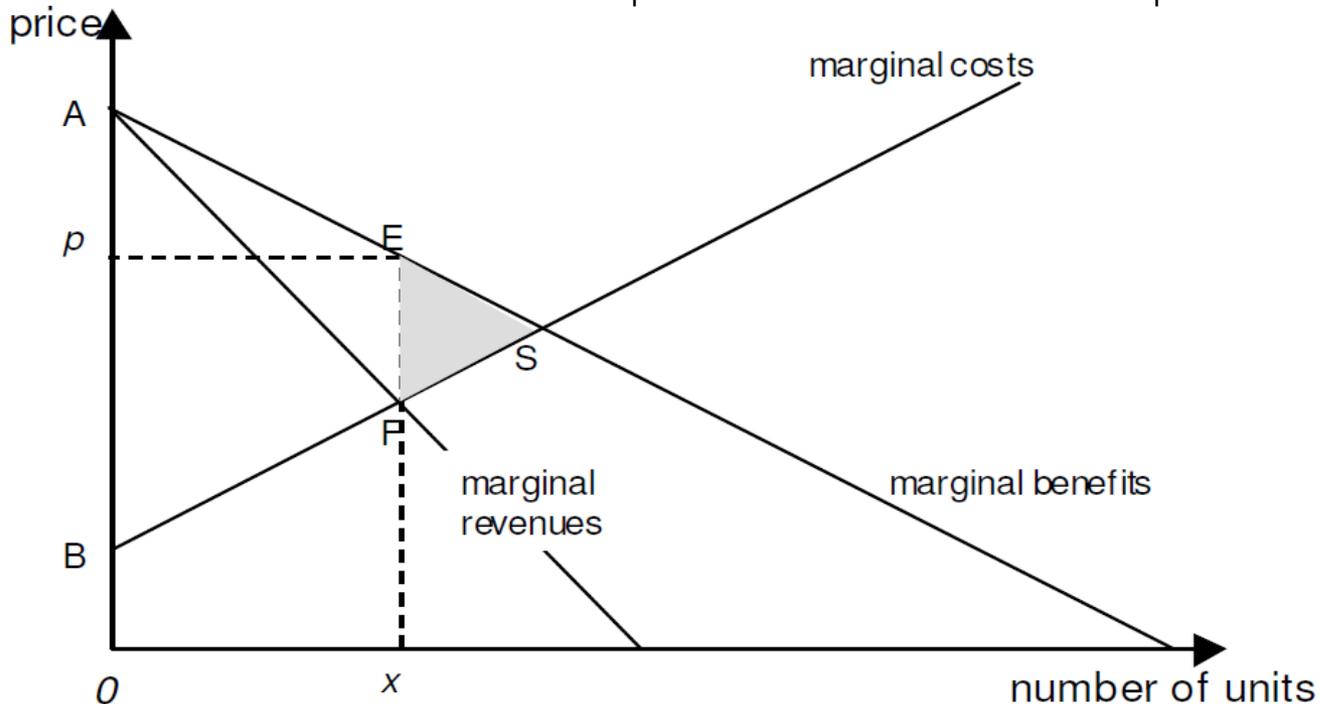
⇒

Le surplus collectif (CS + PS)
est maximal

CAS 2: MONOPOLE PRIVÉ

Cette structure de marché ne maximise pas le surplus total :

- perte EPS (*dead-weight loss*)
- redistribution du surplus des consommateurs vers producteur



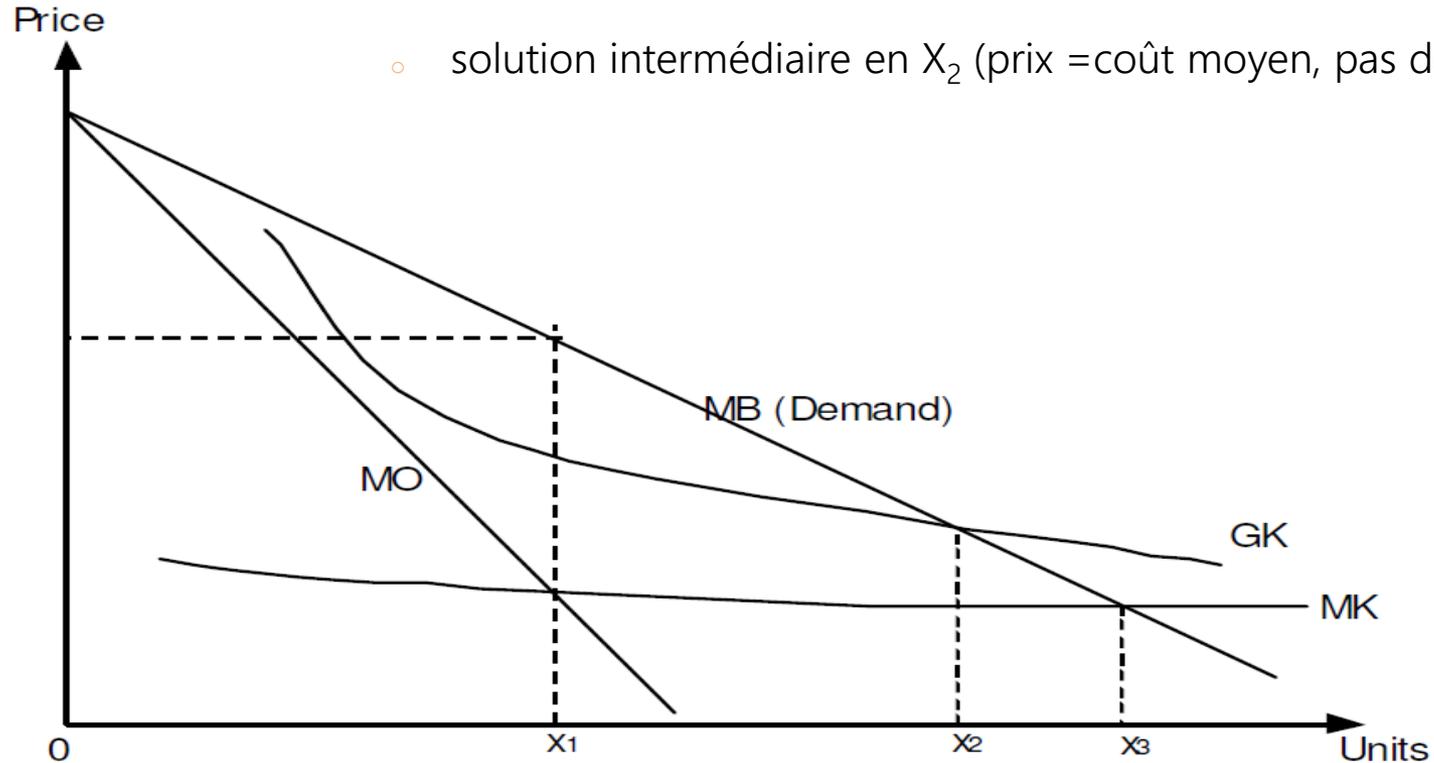
Surplus total:

- monopole privé : AEPB
- APE = CS
- pEPB = PS
- optimum (CPP): ASB

CAS 3: MONOPOLE NATUREL

Quantité X_1 offerte par monopoliste est insuffisante

- on pourrait atteindre X_3 , mais besoin d'une **subvention** (= $GK - MK$)
- solution intermédiaire en X_2 (prix = coût moyen, pas de déficit)



RECETTES – TRANSPORT FERROVIAIRE

Pour le fer, hors liaisons internationales, les tarifs de SNCF Voyages ne sont pas encore « libres » mais régulés par l'Etat :

- SNCF historiquement en **monopole naturel** sur certains segments (national, régional)
- SNCF fournit un **service public** (au moins pour le transport régional)

Tarifications distinctes selon qu'on soit en TGV, en Intercités ou en intra-régional :

- TGV tarifé selon principes du « **yield management** », même si l'Etat continue de contrôler les tarifs TGV (mais 100% de couverture des coûts)
- Intercités : $p = b \cdot km + a$ (a inclut la subvention = 20% des recettes)
- TER : $p = b \cdot km + a$ (a = 60-75%, conventions SNCF-régions)

Au final, **analyse des recettes** intimement liée à celle des **subventions publiques**

- surtout pour fer
- ici également, importance de **bien anticiper le niveau de trafic**

RECETTES – TRANSPORTS URBAINS

Les recettes des opérateurs (DSP ou concessions) dépendent souvent des clauses des contrats signés avec l'AOM

Les schémas de rémunération ont pour principaux objectifs de

- réduire l'**anti-sélection** : mauvaises infos sur les caractéristiques des opérateurs
- ainsi que l'**aléa moral** : efforts non observables

L'AOT verse à l'opérateur la rémunération suivante :

$$\text{Rem} = A + C*(1-b)$$

où A est un montant forfaitaire et (1-b) le remboursement de C (coûts)

- « **Cost plus** » si $b=0$: l'entreprise ne supporte rien de son coût, peu incitatif
- « **Fixed price** » si $b=1$: l'entreprise bénéficie de gains si elle réussit à réduire C, très incitatif

Beaucoup de contrats intermédiaires, où A est nivelé

Les choix des opérateurs révèlent leurs caractéristiques

Partie 6

Dépenses et recettes publiques

COFP et PFRFP

COÛT D'OPPORTUNITÉ DES FONDS PUBLICS

L'Etat et les CL participent souvent au financement des infrastructures et services de transport

- la puissance publique doit donc prélever des impôts qui devraient théoriquement correspondre au "consentement à payer" des citoyens pour bénéficier de ces services de transport
- en raison de la complexité d'une telle pratique, on a plutôt recours aux barèmes fiscaux moyens, nécessairement simplificateurs

Il existe donc une distorsion dans les choix de consommation des individus

- certains voudraient payer - d'impôts pour "consommer" - de transports et + d'autres biens

Le COFP a pour but de décrire cette **distorsion des choix individuels**

Les rares études sur le sujet (Béaud, 2008) estiment le COFP à 1,2

Le COFP s'applique à toutes les dépenses et/ou recettes publiques

- il doit être pris en compte dans le calcul du solde annuel net du producteur (lorsque celui-ci est public)
- parfois des coefficients différents sont appliqués aux bénéfices et aux recettes

PRIX FICTIF DE RARETÉ DES FONDS PUBLICS

Il existe un autre problème pour les décideurs publics lorsque :

- tous les projets d'infrastructures candidats sont rentables
- la **contrainte budgétaire** est "dure" (ressources limitées)

On applique alors aux dépenses (nettes) de chaque projet le **prix fictif de rareté des fonds publics**

Il décrit, pour une conjoncture économique donnée, la rareté relative des deniers publics

- si récession, le PFRFP augmente
- actuellement, PFRFP = 0,05

Au final, **COPFP + PFRFP = 1,25**

- **coefficient à appliquer aux dépenses/recettes publiques** (y compris investissement initial)
- remarque : il faut aussi prendre en compte les **changements de taxes perçues**
 - ex: moins de TICPE/TVA si report modal voiture/fer

Partie 7

Actualisation & risque

ACTUALISATION

Le calcul économique évalue les bénéfices annuels nets pour les T années que durera le projet, horizon parfois lointain:

Tableau 1 – Durée de vie estimée des infrastructures de transport aux États-Unis

<i>Mode</i>	<i>Infrastructure</i>	<i>Durée de vie</i>
<i>Transport terrestre</i>	Routes	10-20 ans
	Ponts	50-100 ans
	Aqueducs	30-45 ans
	Tunnels	50-100 ans
	Voies ferrées	50 ans
<i>Transport aérien</i>	Pistes	10 ans
	Terminaux	40-50 ans
<i>Transport maritime</i>	Docks et terminaux portuaires	40-50 ans
	Pipelines	100 ans

Source : Kahrl et al. (2008).

Question : doit-on donner le même « poids » aux gains/coûts présents et futurs ? Réponse : **NON !**

Facteurs sous-jacents à l'actualisation :

- **préférence pure pour le présent** (acteurs économiques « impatients »)
- anticipations sur la **croissance** du revenu et de la consommation (« lissage »)
- **primes de risques** (tenter d'intégrer l'incertitude future)

Rappel : le **taux d'actualisation** peut être comparé au TRI/TRE

ACTUALISATION SANS RISQUE

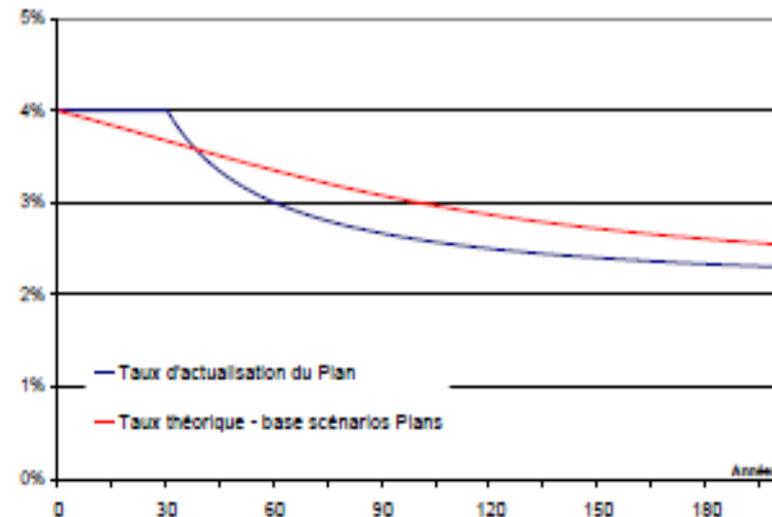
Le **taux d'actualisation** (ρ) se compose ici uniquement du **taux de préférence pure pour le présent** (δ) et des **effets d'anticipation sur la croissance future** :

$$\rho_t = \delta + \eta g(C_t)$$

- avec η = utilité marginale de la consommation et g = taux de croissance
- second terme correspond à la « **règle de Ramsey** » : redistribution vers les moins riches, la génération présente dans une économie en croissance

Tableau 1 : Exemples de choix de paramètres

	δ	η	ρ (avec une croissance à 2 %)
Cline (1993)	0 %	1,5	3 %
Nordhaus (1994)	3 %	1	5 %
Stern (2006)	0,1 %	1	2,1 %
Gollier (2005)	1 %	2	5 %
CAS (2005)	0-1 %	2 %	4% puis décroissant au-delà de 30 ans



Source : Rapport du CG

ACTUALISATION AVEC RISQUE

Risques spécifiques aux projets (« non systémiques »)

- doivent être convenablement intégrés aux estimations des coûts, des recettes et des trafics

Risques systémiques (Gollier, 2011) :

- à intégrer au taux d'actualisation r $r = r_f + \beta\phi$ $r_f = \delta + \gamma\mu - \frac{1}{2}\gamma^2\sigma^2$ et $\phi = \gamma\sigma^2$
- r_f =taux sans risque, ϕ =prime de risque, β =coefficient propre au projet, δ =préférence pure présent, γ =coefficient d'aversion relative au risque, μ =espérance du taux de croissance et σ =écart-type du taux de croissance

Rapport Quinet (2013) préconise $r_f=2,5\%$ et $\phi=2\%$ (après 70 ans: 1,5% et 3%)

- β lié aux gains des usagers et effets externes : gains de temps/environnement corrélés positivement au PIB/hab

Premières estimations de bêtas par secteur

Voyageurs urbains	1,1
Voyageurs régionaux	1,2
Voyageurs longue distance	1,7
Ferroviaire fret	1,4

Source : travaux de la commission

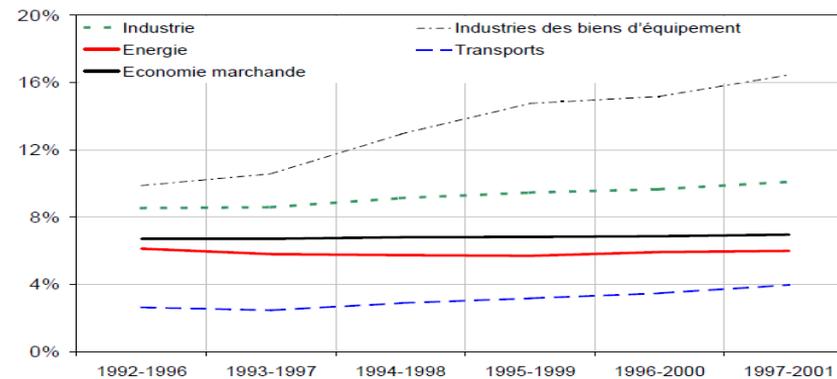
RENTABILITÉ FINANCIÈRE PRIVÉE

Taux d'actualisation s'appliquent principalement pour les investissements publics

Or, le secteur privé participe aussi au financement des transports, et possède sa propre exigence de rentabilité financière

- en particulier les investisseurs privés peuvent arbitrer avec la rentabilité du capital dans un autre secteur d'activité :

Graphique 1 : Taux de Rendement Interne du capital privé par secteurs : moyenne glissante sur 5 ans



Source : INSEE, Comptes Nationaux.

- ou placer autrement leur argent: actifs sans risque (titres financiers à long-terme, obligations d'état)

Bonafous (2005) : les acteurs privés espèrent une rentabilité de 10-12%

RAPIDE HISTORIQUE DE L'ACTUALISATION

Le Commissariat Général au Plan avait fixé en 1985 le taux d'actualisation à **8%**

- 6% pour la rentabilité du capital privé + prime de risque de 2%

Cependant :

- **↓ des taux d'intérêt réels** depuis les années 80' via la mise en place d'un marché du capital intégré au niveau européen et mondial (permettant de desserrer la contrainte de financement des économies nationales)
- **préoccupations environnementales** grandissantes (GES), qu'un taux d'actualisation trop élevé aura tendance à occulter (rapport Stern, 2006)

Evolutions du taux d'actualisation

- rapport Lebègue (2005) : 4%
- rapport Quinet (2013) : **4,5%**

Avec passage de 8% à 4,5%, de nombreux projets ont vu leur **VAN s'améliorer** (indicateur du TRI + facilement validé)

Les calculs de VAN se doivent donc d'être de + en + précis, en intégrant bien les divers effets socio-économiques !

Partie 8

Externalités

EXTERNALITÉS

Définition: on parle d'**externalité** dès que le **choix d'un agent** a une conséquence directe sur le **bien-être des autres agents** sans que cela ne soit pris en compte par le marché

- elles sont positives/négatives, liées à la consommation/production

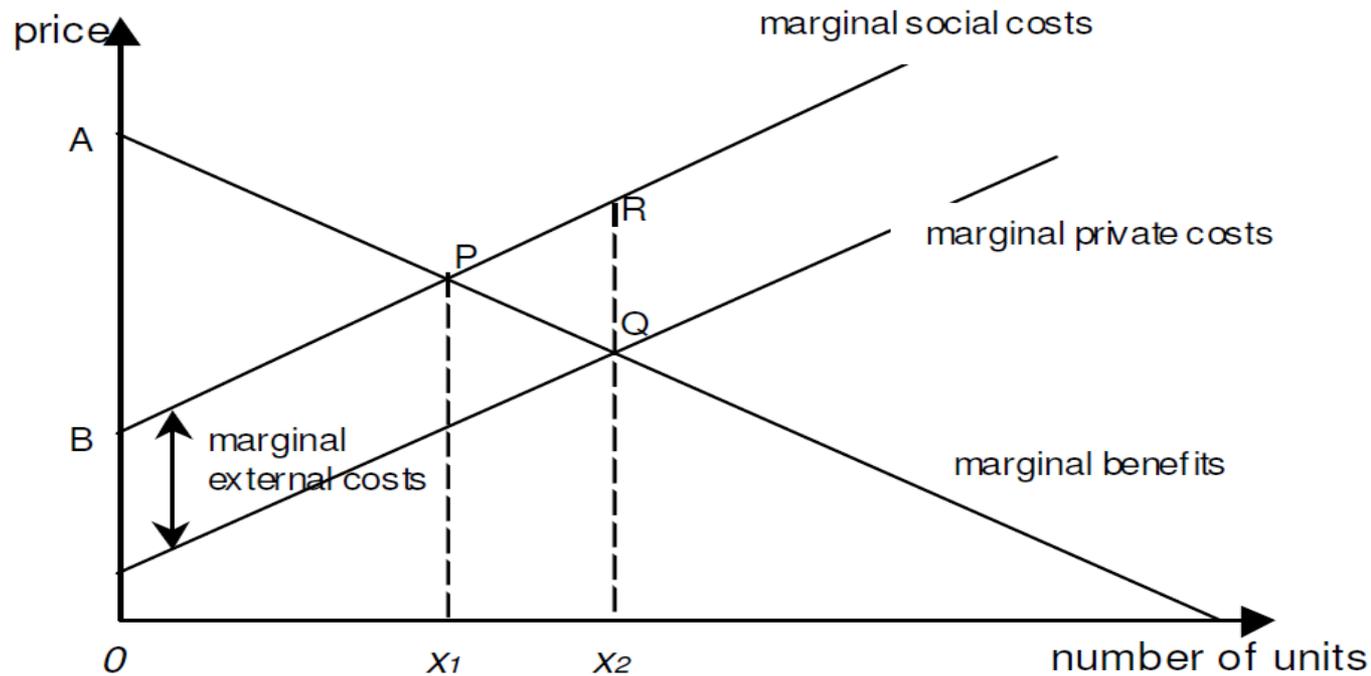
Les **coût social** (MSK) et **privé** (MPK) **diffèrent** car les individus ne considèrent pas le **coût externe** (MEK) de leurs décisions :

$$MSK(q) = MPK(q) + MEK(q)$$

Ces « défaillances de marché » justifient donc **l'intervention publique** :

- taxation « internalisante » (principe du « pollueur-payeur »)
- subventions publiques pour inciter au report modal
- construction de **nouvelles infrastructures (ACB)**
- créations de marchés (« droits à polluer ») et de normes

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE



Equilibre = Q alors que optimum = P

- perte de surplus PQR et coût marginal externe RQ

CONGESTION

Apparaît lorsque demande excessive dégrade qualité de service (cf. séance coûts)

- externalité car le conducteur dans son choix d'itinéraire ne considère pas influence de son véhicule sur reste du trafic (↑ temps parcours)
- phénomène similaire pour TC : congestion en véhicule (↓ confort)

En ACB:

- gains de décongestion traités comme externalités si changement induit est marginal
- sinon on regarde variation du surplus des « autres » consommateurs

Il faut bien faire attention aux types de routes concernées et à leur niveau de congestion

- non-linéarité du coût marginal de congestion
 - gains de décongestion \neq pour autoroute bondée vs. route rurale peu fréquentée

CONGESTION ROUTIÈRE

Table 9: Efficient Marginal Congestion Costs, €ct per vkm, 2010, EU average*

Vehicle	Region	Road type	Free flow	Near capacity	Over capacity
			(€ct/vkm)	(€ct/vkm)	(€ct/vkm)
Car	Metropolitan	Motorway	0.0	26.8	61.5
		Main roads	0.9	141.3	181.3
		Other roads	2.5	159.5	242.6
	Urban	Main roads	0.6	48.7	75.8
		Other roads	2.5	139.4	230.5
	Rural	Motorway	0.0	13.4	30.8
		Main roads	0.4	18.3	60.7
		Other roads	0.2	42.0	139.2
	Rigid truck	Metropolitan	Motorway	0.0	50.9
Main roads			1.8	268.5	344.4
Other roads			4.7	303.0	460.9
Urban		Main roads	1.2	92.5	144.1
		Other roads	4.7	264.9	438.0
Rural		Motorway	0.0	25.4	58.4
		Main roads	0.8	34.8	115.3
		Other roads	0.4	79.8	264.5
Articulated truck		Metropolitan	Motorway	0.0	77.6
	Main roads		2.7	409.8	525.6
	Other roads		7.2	462.5	703.5
	Urban	Main roads	1.8	141.1	219.9
		Other roads	7.2	404.4	668.6
	Rural	Motorway	0.0	38.8	89.2
		Main roads	1.2	53.1	176.0
		Other roads	0.6	121.9	403.8
	Bus	Metropolitan	Motorway	0.0	66.9
Main roads			2.3	353.3	453.1
Other roads			6.2	398.7	606.4
Urban		Main roads	1.6	121.7	189.6
		Other roads	6.2	348.6	576.3
Rural		Motorway	0.0	33.5	76.9
		Main roads	1.0	45.8	151.7
		Other roads	0.5	105.0	348.1

Source: Own calculations based on the FORGE estimates in Table 6. Values for the EU are derived from the UK values by means of value transfer, using the ratio of respective nominal GDPs per capita and the average exchange rate of year 2010 (0.86 GBP/EUR). Congestion bands (free flow, near capacity, over capacity) are defined in Table 7. Metropolitan: cities with the population > 250,000 people; urban: population > 10,000 people. All other areas are considered rural.

* Country-specific values are provided in Excel tables as Annexes to this report.

Plus coûteux si :

- route déjà beaucoup utilisée
- en ville
- « petite » route

CONGESTION FERROVIAIRE

Métros : Haywood et Koning (2015) proposent un coût marginal de congestion de 0,21 €/pkm pour le métro parisien durant les pointes (forts gains de décongestion des VLS, Kopp et Koning, 2014)

Trains : sur certains axes (Lyon-Paris par exemple), un train supplémentaire augmente les retards pour les trains suivants (Herrero et al., 2014)

- Liens évidents avec la volonté de SNCF réseau et de l'ARAFER de « bien » valoriser la rareté des sillons

Si R_i correspond au retard d'un train utilisant le sillon i et Q_i le niveau d'utilisation sur le sillon i :

$$\frac{\partial E(R_i/Q_i)}{\partial Q_i} = \frac{\partial p(R_i^* > 0)}{\partial Q_i} E(R_i | R_i^* > 0) + (R_i^* > 0) \cdot \frac{\partial E(R_i | R_i^* > 0)}{\partial Q_i}$$

Le premier terme correspond à la hausse de la probabilité d'être en retard si on ajoute un train ;
le second terme à la hausse marginale du retard

CONGESTION FERROVIAIRE

Table 2: Regressions results

Line Classification	Type of line	Probit	Linear regression	Line Classification	Marginal Cost (min/train)
		$\frac{\partial p(R_i^* > 0)}{\partial Q_i}$	$\frac{\partial E(R_i R_i^* > 0)}{\partial Q_i}$		
G1	High Speed	0.0096*** (0.0024)	0.020** (0.017)	G1	0.19
G2	Intercity lines	0.020*** (0.00042)	0.49** (0.12)	G2	0.47
G3	Intercity/Regional lines	0.013*** (0.000054)	0.10** (0.018)	G3	0.13
G4	Intercity lines high traffic density	0.022*** (0.00024)	0.67** (0.073)	G4	0.68
G5	Intercity lines low traffic density	0.018*** (0.00057)	0.67 (0.30)	G5	0.59
G6	Intercity lines medium traffic density	0.010*** (0.0011)	0.19 (0.14)	G6	0.18
G7	Regional lines high traffic density	0.025*** (0.00024)	0.14** (0.024)	G7	0.19
G8	Regional lines low traffic density	0.056*** (0.0064)	0.67** (0.31)	G8	0.67
G9	Regional lines medium traffic density	-0.025*** (0.0024)	1.05 (1.10)	G9	0.30

Standard error in parentheses. *p<0.10, **p<0.05, ***p<0.001

Outre des indications sur la « bonne » tarification des sillons, ces chiffres pourraient être utilisés pour le calcul de la VAN d'un projet qui permettrait d'améliorer la fiabilité des trains sur certains axes

POLLUANTS LOCAUX

	SO2	NOx	COVNM	CO	CO2
Transformation énergie	45,4%	9,9%	5,4%	0,5%	12,7%
Industrie manufacturière	33,7%	12,8%	31,1%	26,3%	20,9%
Résidentiel / tertiaire	12,0%	7,0%	21,9%	26,2%	22,8%
Agriculture/sylviculture	2,1%	16,9%	14,0%	11,0%	14,4%
Transport routier	4,4%	48,0%	23,6%	33,6%	26,1%
Autres transports	2,3%	5,5%	4,0%	2,5%	1,7%
Autres	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%

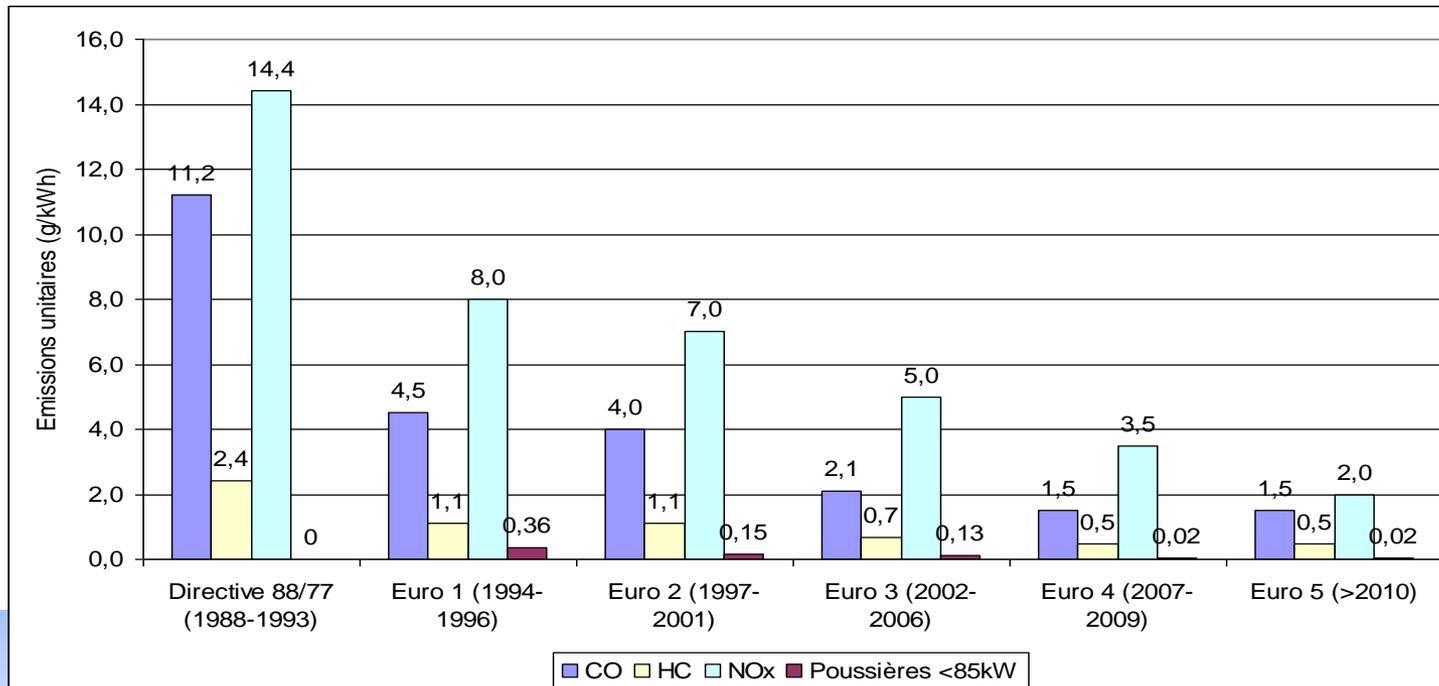
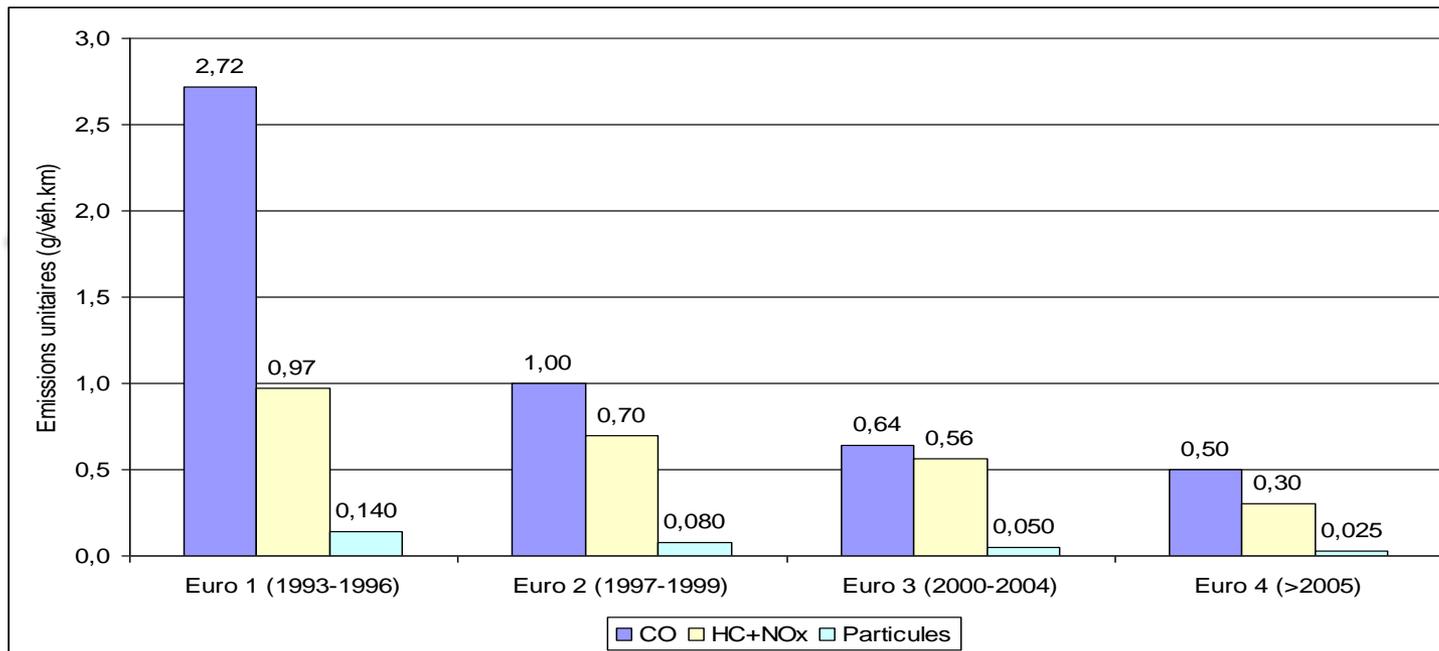
D'importants **effets directs sur la santé** (contrairement aux GES) qui varient selon

- **densité** : influe sur la **population exposée**
- **géographie** : influe sur la **concentration** (ex : vallée de l'Arve en Haute Savoie)

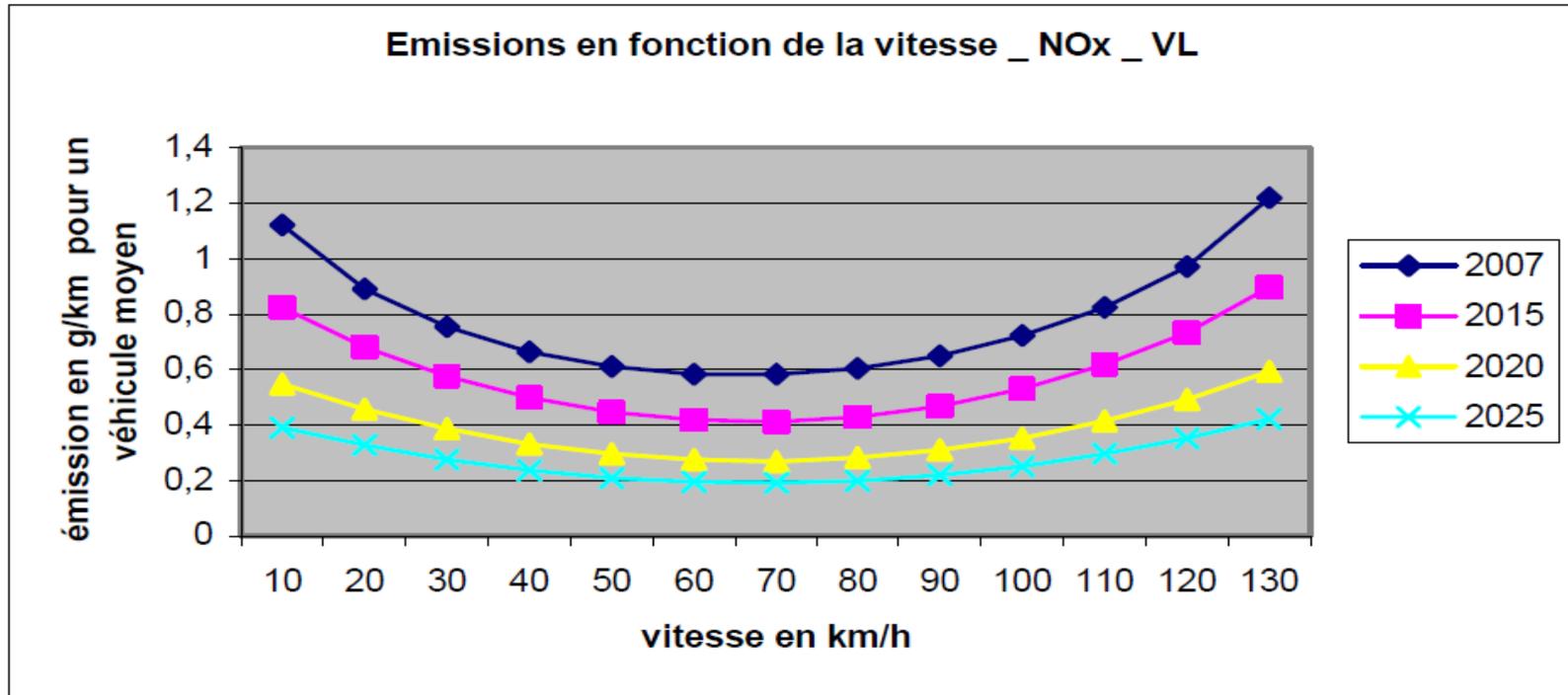
Véhicules diesel émettent + de ces polluants (principal problème français, cf. séance coûts)

Normes Euro ont drastiquement réduit les émissions de polluants locaux

Introduction des « **low emission zones** » (Londres, Allemagne, Paris...)



INFLUENCE DE LA VITESSE: COURBES D'ÉMISSION



Si les véhicules roulent - vite, ce qui est souvent le cas avec les politiques de réaménagement de la voirie en ville et/ou de mise en site propre des TC, ils polluent plus : effet à prendre en compte attentivement

Résultat également valable pour les autres polluants locaux (courbes COPERT)

VALORISATION

Document de référence : **rapport Quinet (2013)**

- 1) Calcul du coût annuel des impacts du polluant ρ émis par la catégorie de véhicule ν , $Coût_{\nu\rho}$ (en €/véh.km) :

$$Coût_{\nu\rho} = F_{\nu\rho} \cdot C_p$$

$F_{\nu\rho}$: Facteur d'émission du polluant ρ par la catégorie de véhicule ν (en g/véh.km) ;

C_p : Coût marginal des impacts sanitaires et environnementaux des émissions du polluant ρ (en €/g).

- 2) Calcul de la valeur tutélaire des émissions de polluants de la catégorie de véhicule ν (en €/véh.km) :

$$Valeur\ tutélaire_{\nu} = \sum_{p=1}^n Coût_{\nu p}$$

Le coût marginal des impacts sanitaires est estimé via la valeur de la vie statistique (cf. 8.6)

Idéalement, on applique des **facteurs de pondération de vitesse** (pour facteurs d'émissions) :

Tableau 3 – Coefficients de vitesse pour le calcul des facteurs d'émission lorsque l'infrastructure passe d'une zone à l'autre

	Interurbain à urbain diffus	Urbain diffus à urbain	Urbain à urbain dense	Urbain dense à urbain très dense
VL NOx	/1,5	/1,3	*1	*1,5
VL PM2,5	/1,5	/1,7	*1	*1,3
PL NOx	*1,1	*1,2	*1	*1,6
PL PM2,5	*1	*1,2	*1	*2

NB : les facteurs des VP sont également appliqués aux deux-roues et VUL ; de même les facteurs PL sont appliqués aux bus également.

Source : CAS

VALORISATION

Tableau 6 – Valeurs tutélaires pour le transport routier
(émissions dues à la combustion et à l'usure)

€/2010/100 véh.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain
VP	11,1	3,1	1,3	1,0	0,9
VP diesel	13,8	3,8	1,6	1,3	1,0
VP essence	4,5	1,3	0,6	0,5	0,5
VP gpl	3,5	1,0	0,4	0,3	0,1
VUL	22,0	6,1	2,5	1,9	1,5
VU diesel	22,9	6,3	2,6	2,0	1,6
VU essence	6,3	1,9	0,9	0,8	0,8
PL diesel	186,6	37,0	17,7	9,4	6,4
Deux-roues	8,7	2,5	1,0	0,8	0,5
Bus	125,4	24,8	11,9	6,3	4,2

Source : CAS

Tableau 9 – Valeurs tutélaires pour le transport ferroviaire

€/2010/100 trains.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain
Train passagers diesel	881,5	293,8	97,9	32,6	3,3
Train passagers élec.	négligeables	négligeables	négligeables	négligeables	négligeables
Train fret diesel	750,5	250,2	83,4	27,8	2,8
Train fret élec.	négligeables	négligeables	négligeables	négligeables	négligeables

Source : CAS

• Transport fluvial

Tableau 10 – Valeurs tutélaires pour le transport fluvial

€/2010/100 bateaux.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain
Fluvial	18 900	6 350	2 150	750	140

Source : CAS

• Transport aérien

Tableau 11 – Valeurs tutélaires pour le transport aérien

	Urbain	Urbain diffus
Mouvement : (€/2010/100 mouv.)	Entre 8 700 et 17 200	Entre 2 900 et 3 050
Vol : (€/2010/100 vols.km)	Entre 14,3 et 16,5	Entre 12,3 et 13,3

Source : CAS

LES ÉMISSIONS DE CO₂ EN FRANCE

Transports = **30%** des émissions de GES

- dont majorité liée aux **modes routiers** (92%)

Route	91,8%
Air	3,7%
Fer	0,5%
Navigation & fluvial	1,6%
DOM-TOM	2,0%
Autres	0,4%
Total	100,0%

De nombreux **objectifs officiels** pour réduire les émissions de GES

- Kyoto, Facteur 4, Grenelles I & II, Accord de Paris...

2 remarques importantes :

- **impact global** et non local (contrairement aux polluants locaux)
- transports ferroviaires et VE peu générateurs de CO₂ car utilisent électricité
 - mix énergétique peu carboné en France (mais nucléaire)
 - situation différente dans d'autres pays (ex: Europe de l'Est avec centrales charbon)

UNE INFLUENCE MAJEURE DU TAUX D'OCCUPATION

Exemple d'un TER X73500 :

- consommation : 90 l/100km (avec 2,7 kg de CO₂ par litre de gazole)
- capacité : 80 passagers
- rempli à 20% = 16 passagers

Au final: 2,43 kg CO₂/km, soit **152 g CO₂/pkm** pour le TER

En comparaison :

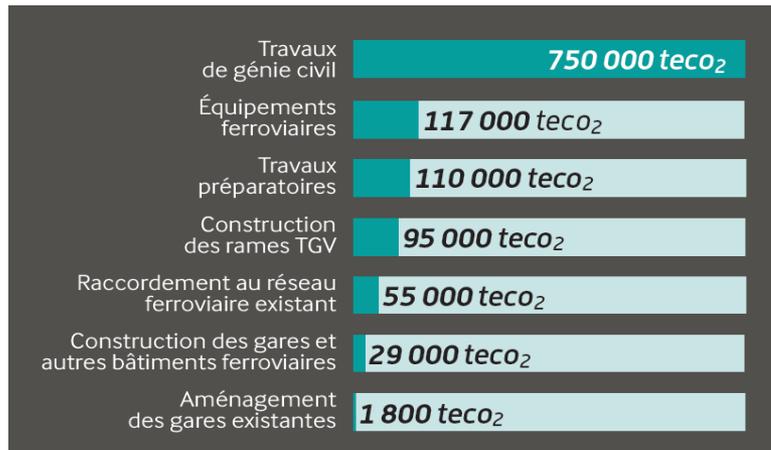
- Twingo : **140 gCO₂/km** (à diviser par le nombre de passagers)
- car: **84 gCO₂/pkm** (avec consommation 25 l/100km, 40 places, remplissage 20%)

Les TC n'émettent pas toujours moins qu'une voiture !

⇒ tenter d'inclure les **taux de remplissage** dans le calcul des VAN

ÉMISSIONS DURANT LES CHANTIERS

Bilan Carbone de LGV Rhin-Rhône Est (RFF, ADEME, SNCF)



La phase de construction a émis 1,16 M teqCO₂

Cela représente **42% des émissions totales** du projet

- reliquat: 57% pour l'exploitation et 1% pour la conception

Le bilan carbone sera positif après 12 années de service (si pas d'erreur dans prévisions de trafic)

⇒ Les ACB se doivent de considérer au mieux ces effets chantiers

LA VALEUR DU CARBONE

Documents de référence : rapports E. Quinet (2008) & A. Quinet (2019)

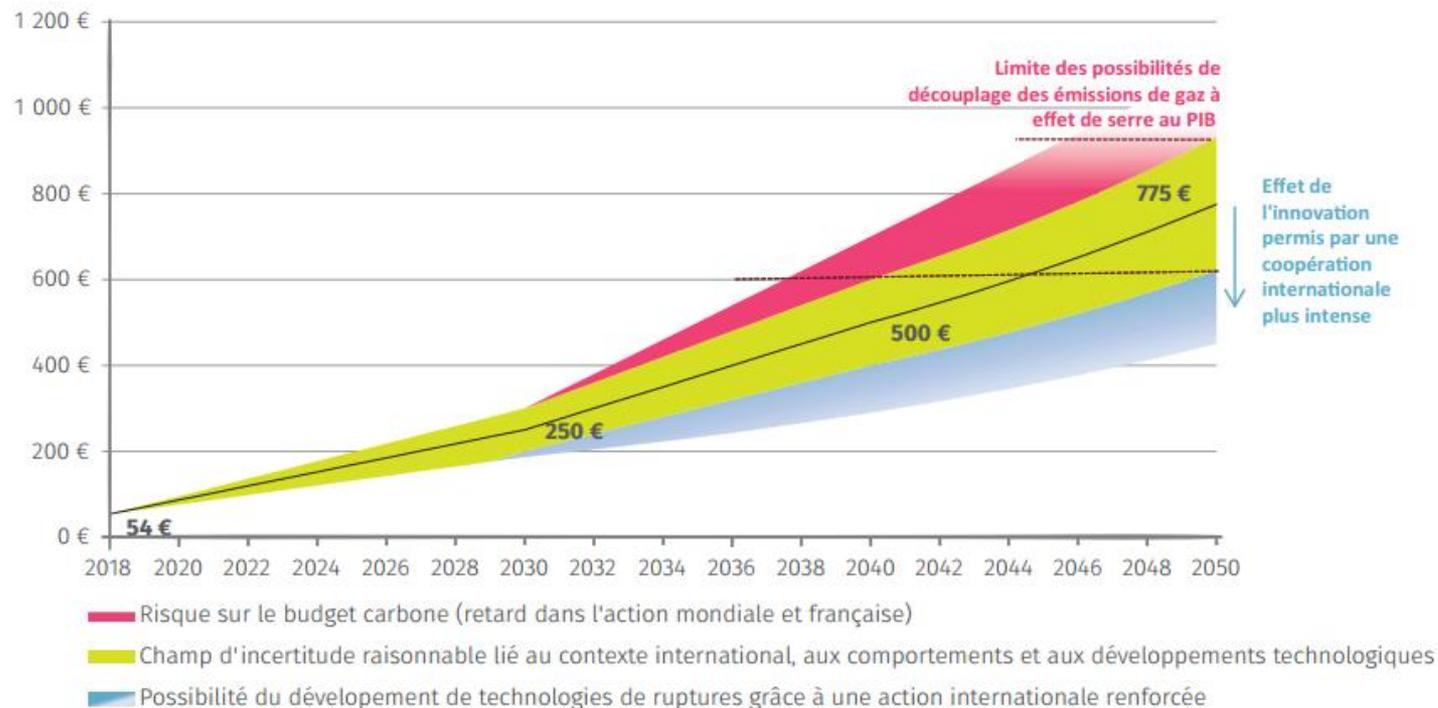
Trois approches possibles :

- **coût social lié aux (futurs) dommages infligés**
 - si on ne fait rien, le réchauffement climatique va augmenter avec de futurs dommages naturels qui auront un coût économique (modèles climatiques, avec de fortes incertitudes sur les trends)
- **coût de la tonne d'abattement**
 - le coût du carbone est approximé par le coût des mesures à mettre en œuvre afin d'éviter l'émission d'une tonne supplémentaire (approche guidée par les technologies et leur diffusion)
- **coût de la tonne sur le marché des droits à polluer**
 - il existe un marché sur lequel des droits à polluer sont échangés (les firmes qui émettent peu ont des droits qu'elles peuvent vendre à celles qui ont besoin de polluer, 50% des émissions industrielles proviennent de ce mécanisme en Europe)

LA VALEUR DU CARBONE

Rapport Quinet 2019: valeur calculée par des modèles socioéconomiques pour atteindre neutralité carbone

- « valeur pour l'action » : vision objectifs (coûts d'abattement), non par impacts ou marché



BRUIT

Nuisances sonores dépendent :

- du **type de véhicule**
- des **moments de la journée** : jour/nuit, niveau de trafic
- du nombre de **personnes exposées**

Deux manières d'appréhender le coût marginal du bruit :

- **méthode des prix hédoniques** : impact du bruit appréhendé à travers influence sur prix immobiliers
 - estimation par méthode statistique sur bases de prix immobiliers
- **méthode acoustique** : similaire à qualité de l'air (émissions sonores → impact sanitaire → € via VSL)

$$L_{DEN} = 10 \log \left(\frac{12}{24} * 10^{\frac{LD}{10}} + \frac{4}{24} * 10^{\frac{LE+5}{10}} + \frac{8}{24} * 10^{\frac{LN+10}{10}} \right)$$

L_D , L_E et L_N correspondent aux niveaux de bruit moyens calculés respectivement pour le jour (7 h-19 h), la soirée (19 h-23 h) et la nuit (23 h-7 h), à deux mètres en amont de la façade la plus exposée.

Evolution des préconisations : rapport Boiteux = prix hédoniques → rapport Quinet = acoustique

BRUIT

Tableau 1 – Valeurs du coût des nuisances sonores, exprimées en euros 2010/personne exposée/an

L _{DEN} *	Trafic routier	Trafic ferroviaire	Trafic aérien
50	-	-	-
51	11	-	16
52	21	-	32
53	32	-	49
54	43	-	65
55	54	-	81
56	65	11	98
57	75	21	114
58	86	32	130
59	97	43	146
60	108	54	163
61	119	65	179
62	130	75	196
63	150	86	226
64	167	97	253
65	187	108	283
66	209	119	315
67	233	130	351
68	259	150	390
69	287	167	433
70	317	187	479
71	350	209	528
72	385	233	581
73	422	259	637
74	462	287	698
75	505	317	762
76	550	350	830
77	597	385	902
78	648	422	978
79	701	462	1 059
80	757	505	1 143

Tableau 2 – Coefficients d'équivalence acoustique VL/PL

Coefficient d'équivalence acoustique	Trafic peu dense	Trafic dense
Autoroute	4	8
Autre route interurbaine	7	8
Voie rapide urbaine	7	7
Voie urbaine	10	11

Trafic aérien + coûteux

Trafic ferroviaire – coûteux

Chiffres à utiliser lorsqu'on a la carte de population exposée + niveaux de bruit

(*) Niveau sonore moyen pondéré pour une journée divisée en 12 heures de jour (*day*), en 4 heures de soirée (*evening*) avec une majoration de 5 dB et en 8 heures de nuit (*night*) avec une majoration de 10 dB. Ces majorations sont représentatives de la gêne ressentie dans ces périodes.

Source : travaux internes sur la base de CE Delft-INFRAS (2008), HEATCO (2006) et EEA (2010)

BRUIT

Tableau 4 – Valeurs du coût des nuisances sonores, exprimées en euros 2010/1 000 véhicule.kilomètre pour le mode routier en trafic peu dense par jour moyen

Type de peuplement	Type d'infrastructure	Coût moyen des nuisances sonores en € ₂₀₁₀ /1000v.km à utiliser quand on ne connaît pas la composition du trafic ¹	Coût moyen VL	Coût moyen PL	Coût marginal VL	Coût marginal PL
Rural	Autoroute	0,78	0,5	1,9	0,03	0,1
	Nationale ou départementale	3,35	1,9	13,6	0,12	0,8
	Communale ²	16,75	10,5	115,2	0,63	6,9
Semi-urbain	Autoroute	3,14	2,0	7,8	0,12	0,5
	Nationale ou départementale	7,35	3,3	23,4	0,20	1,4
	Communale	35,08	16,9	168,6	1,01	10,1
Urbain	Autoroute	8,99	5,6	22,5	0,34	1,3
	Nationale ou départementale	9,75	5,7	39,7	0,34	2,4
	Communale	48,45	31,5	314,6	1,89	18,9
Urbain dense	Autoroute	13,24	8,3	33,1	0,50	2,0
	Nationale ou départementale	15,72	9,1	64,0	0,55	3,8
	Communale	58,41	37,9	379,3	2,28	22,8
Urbain très dense	Autoroute ³	22,40	14,0	56,0	0,84	3,4
	Nationale ou départementale	28,96	16,8	117,9	1,01	7,1
	Communale	66,29	43,0	430,5	2,58	25,8

Source : Sétra (cf. tome 2)

Tableau 5 – Valeurs du coût marginal des nuisances sonores, exprimées en euros 2010/train.kilomètre pour le mode ferroviaire

Type de véhicule	Période de la journée	Trafic	Urbain	Semi-urbain	Rural
Train passagers	Jour	Dense	0,31	0,014	0,017
		Peu dense	0,61	0,027	0,033
	Nuit		1,02	0,045	0,056
Train fret	Jour	Dense	0,55	0,027	0,034
		Peu dense	1,3	0,052	0,065
	Nuit		2,2	0,088	0,11

Source : CE Delft-INFRAS, 2011

Tableau 6 – Valeurs du coût moyen des nuisances sonores, pour le mode ferroviaire

Type de véhicule	€/ 1 000 tonne.km ou 1 000 passager.km	€/train.km
Train passagers	2,64	0,57
Train fret	6,12	2,29

Source : d'après CE Delft-INFRAS, 2011¹

Quand faut-il utiliser les coûts marginaux et les coûts moyens ?

Les coûts marginaux sont à utiliser lorsque les infrastructures en cause subissent de faibles variations de trafic ; ce sera le cas en particulier lorsque l'infrastructure d'un mode est déchargée d'une portion limitée de son trafic par la création d'une infrastructure concurrente, du même mode ou d'un autre mode. En revanche, lorsqu'il s'agit d'une infrastructure entièrement nouvelle, le paramètre à considérer est le coût moyen.

ACCIDENTALITÉ

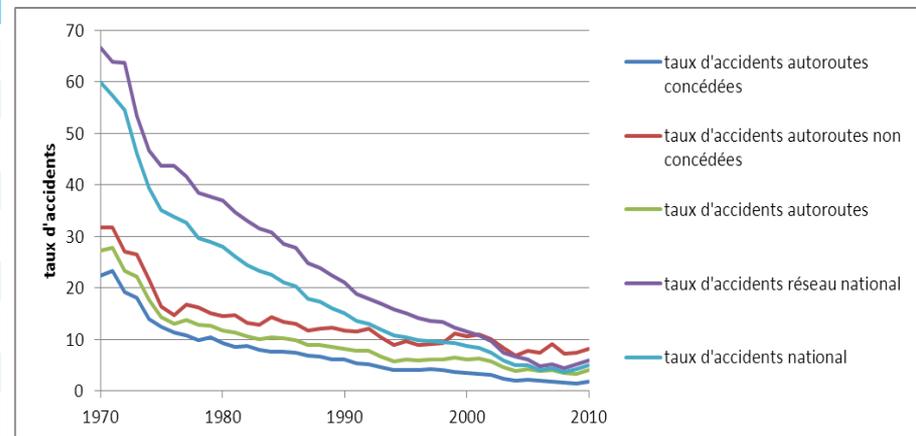
Débat : doit-on classer cet effet des transports dans les **coûts privés** des voyageurs ou dans les **externalités** ?

- caractère non systématique des accidents (vs. pollution environnementale)
- les assurances prennent partiellement en compte le risque sur le coût privé
- certains accidents n'impliquent pas de dommage à des tiers

L'accidentalité concerne essentiellement les **modes routiers** (voitures, PL et 2R), même si elle a fortement baissé au cours des dernières décennies

Répartition du nombre de personnes tuées par catégorie d'usagers dans un accident mortel selon la catégorie d'usagers impliqués

	Victimes	Piétons	Vélos	Cyclos	Motos	VT	VU	PL-TC	Autres	Toutes catégories
Sans tiers		0	25	55	250	916	77	36	35	1 394
Contre piéton		0	0	0	2	1	0	0	0	3
Contre vélo		2	5	0	0	0	0	0	0	7
Contre cyclo		11	1	0	2	0	0	0	1	15
Contre moto		25	6	3	6	3	0	0	0	43
Contre VT		308	65	82	255	454	15	3	14	1 196
Contre VU		46	17	13	38	86	10	0	2	212
Contre PL-TC		61	27	11	37	219	24	16	9	404
Contre autre véhicule		9	7	6	18	21	4	0	2	67
Multicol.		27	11	9	56	182	15	7	5	312
Total		489	164	179	664	1 882	145	62	68	3 653



LES ACCIDENTS, UNE EXTERNALITÉ ?

Les voyageurs sont-ils conscients des risques lorsqu'ils se déplacent?

- probablement dans une certaine mesure...

S'ils le sont, la sécurité fait partie du GC \Rightarrow double-compte si on ajoute tous les bénéfices de sécurité

- sauf cas des bénéfices liés aux "spectateurs innocents"

Illustration: soit D voyageurs et une baisse du temps de parcours de t_0 à t_1 impliquant une variation de la demande ΔD , et notons le coût d'un accident (VSL * mortalité/déplacement) = a

Si voyageurs conscients du risque:

$$CS = \left(D + \frac{\Delta D}{2} \right) (VTTS \times t_0 + a - (VTTS \times t_1 + a)) = \left(D + \frac{\Delta D}{2} \right) \times VTTS \times (t_0 - t_1)$$

Si voyageurs inconscients du risque :

$$CS = \left(D + \frac{\Delta D}{2} \right) \times VTTS \times (t_0 - t_1) - \Delta D a$$

\Rightarrow peut avoir un impact important sur les résultats de la CBA, mais question dure à trancher empiriquement

VALORISATION DE LA VIE

Pour éviter des problèmes éthiques, le rapport Quinet (2013) préconise de parler de **valeur de la vie statistique** (VVS, en anglais *Value of Statistical Life* ou VSL)

Elle s'obtient en actualisant la valeur d'une année de vie (VAV) avec un taux d'actualisation (δ) :

$$VVS = \sum_t^T VAV \cdot (1 + \delta)^{-t}$$

La VAV se déduit

- des **comportements réels** observés (que font les gens pour éviter les risques ? quelles dépenses engagent-ils ?)
- de l'étude de **préférences déclarées**
- de **modèles d'épidémiologie** permettant de prévoir l'espérance de vie
- d'approches reposant sur le **capital humain** (VAV = ce que gagnent les individus en travaillant un an)

Débats pour savoir si $VVS = f(\text{âge, genre, revenu...})$

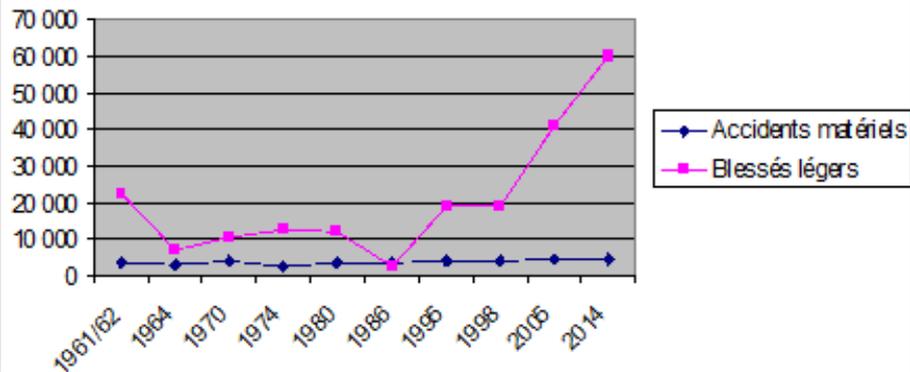
Dans une perspective temporelle, la VVS augmente avec le PIB/hab

RAPPORT QUINET (2013)

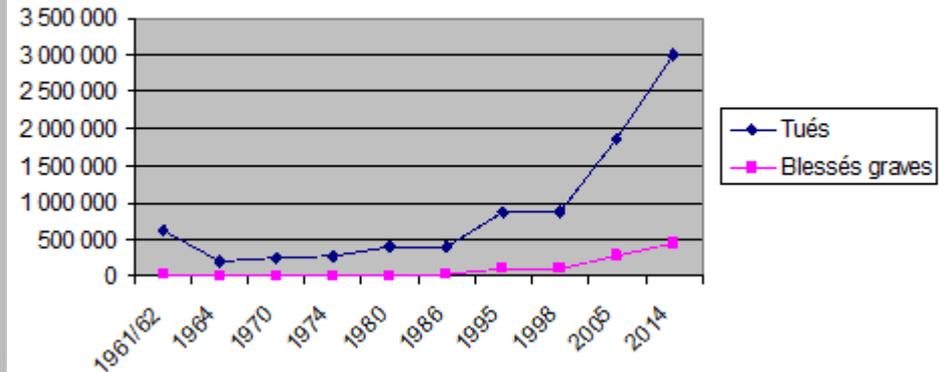
Valeurs tutélaires

- Valeur de la vie humaine ou valeur de la vie statistique (VVS) : 3 millions d'euros 2010.
- Valeur de l'année de vie (VAV) : 115 000 euros 2010.
- Valeur du blessé grave : 15 % de la VVS, soit 450 000 euros 2010.
- Valeur du blessé léger : 2 % de la VVS, soit 60 000 euros 2010.

Sécurité (1)



Sécurité (2)



Conséquences : les investissements qui améliorent la sécurité présenteront de très forts bénéfices, même s'ils réduisent la vitesse (et donc hausse du CG) : effets à inclure aux ACB

EFFETS AMONT-AVAL

Si on adopte une perspective d' « **analyse en cycle de vie** », la fourniture des infrastructures de transport génère d'autres externalités environnementales :

- Celles liées à la production et à la distribution de l'énergie (« **from well to wheel** ») : extraction, transport, transformation
- Celles liées à la production, la maintenance et le retrait des véhicules
- Celles liées à la production, la maintenance et le retrait des infrastructures (voir le Bilan Carbone précédent)

Le rapport Quinet (2013) reprend les valeurs proposées au niveau européen par le *Handbook on external costs* du CE Delft-INFRAS (2012), en adaptant les valeurs du CO2 et de la VVS au cas français

Plutôt bien adapté car reprenant le mix énergétique national

Mais **besoins de recherches futures sur le sujet**

EFFETS AMONT-AVAL

Tableau 12 – Hypothèses sur la part des groupes de substance dans la valeur de référence du rapport CE Delft-INFRAS (en pourcentage)

	A : part CO ₂	B : part PM	Γ : part gaz (NO _x , SO ₂ , COVNM)	Dans la valeur de référence R_v pour le mode de transport m
Route	54	Négligeable	46	100
Fer diesel	54	Négligeable	46	100
Fer élec.	63	Négligeable	37	100
Aérien	54	Négligeable	46	100
Fluvial	54	Négligeable	46	100

NB : pour le mode ferroviaire électrique, il est considéré que l'énergie consommée est à 90 % d'origine nucléaire et renouvelable et n'émet pas les polluants pris en compte dans ce rapport (CO₂, PM, NO_x, SO₂ et COVNM). Les émissions correspondent donc aux 10 % restants (centrales thermiques au charbon et au gaz).

Tableau 13 – Valeurs tutélaires recommandées pour les effets amont et aval à la circulation

€2010/100 véh.km	Valeurs tutélaires des émissions atmosphériques des procédés amont
Transport routier	
VP	0,90
Bus	2,83
Deux-roues	0,42
Poids lourds	2,96
VUL	1,14
Transport ferroviaire	
Train passagers élec.	25,64
Train passagers diesel	136,35
Train fret élec.	30,50
Train fret diesel	143,51
Transport aérien	
Avion	58,38
Transport fluvial	
Fluvial	96,61

Source : CGSP

Ces effets sont non-négligeables pour les infrastructures ferroviaires

AUTRES ÉLÉMENTS

Bien qu'il ne soit pas encore possible de bien intégrer ces effets aux ACB, mentionnons:

- les effets sur la **biodiversité**
 - le tracé de certaines infrastructures peut nuire à la faune et à la flore
 - il faut dans ce cas mettre en place des mesures (obligatoires) pour « éviter, réduire et compenser »
- la **valeur des sols agricoles**
 - les infrastructures utilisent bien souvent des surfaces agricoles qui génèrent un gain pour l'agriculteur (net des taxes et/ou subventions) et un bénéfice collectif éco-systémique (biodiversité, érosion des sols) ou en termes de sécurité alimentaire.
 - Ici également, il faut, si possible, compenser les pertes pour les agriculteurs et la société
- la **valeur du paysage**
 - certaines infrastructures nuisent aux aménités paysagères et/ou génèrent des effets de coupure spatiale

L'ACB « idéale » prendrait en compte ces effets externes

Fin

Conclusion

*En résumé si vous vous êtes
endormis devant Teams*

SYNTHÈSE

L'évaluation socio-économique des politiques de transport appréhende :

- les coûts (CAPEX et OPEX) des projets, ainsi que leur partage entre acteurs publics/privés
- le scénario de référence, les prévisions de trafic, les effets générés
- les recettes pour l'opérateur (ou les besoins de subventions publiques)
- une mesure appropriée des gains de surplus des usagers
- une bonne identification/valorisation des effets externes (+ comme -)
- les effets sur les finances publiques

Le calcul des VAN SE est aujourd'hui un exercice bien normé

- les valeurs tutélaires du rapport Quinet (2013) couvrent de vastes champs et sont très détaillées

Les ACB portent souvent sur de nouvelles infrastructures, mais peuvent servir à évaluer d'autres politiques

Cette pratique s'étend de + en + à d'autres secteurs : santé, éducation, énergie, défense