

A collage of six images: a modern building with a bicycle, a modern architectural structure, a mountain landscape, a pedestrian walkway, a green roof, and a bridge.

 **CONGRÈS DE
L'IDRRIM**
Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité

MERCREDI 15 JUN 2016 / 11H15 – 12H45
SESSION N°10 : ECONOMIE CIRCULAIRE ET
CHANGEMENT CLIMATIQUE

14 • 15 JUIN

PARIS • PORTE DE VERSAILLES
PAVILLON 1

➤ ECONOMIE CIRCULAIRE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

- ✓ Transition énergétique et économie circulaire
- ✓ Changement climatique : concevoir, entretenir, exploiter la route d'aujourd'hui et l'adapter pour demain, le projet ROADAPT
- ✓ Etude ACV d'une infrastructure routière



Congrès de l'IDRRIM

L'économie circulaire pour la transition écologique et énergétique : vers un modèle de développement « autrement »

Mercredi 15 juin 2016, Paris

Frédéric MORTIER

directeur délégué ressources naturelles et environnement / Cerema Siège

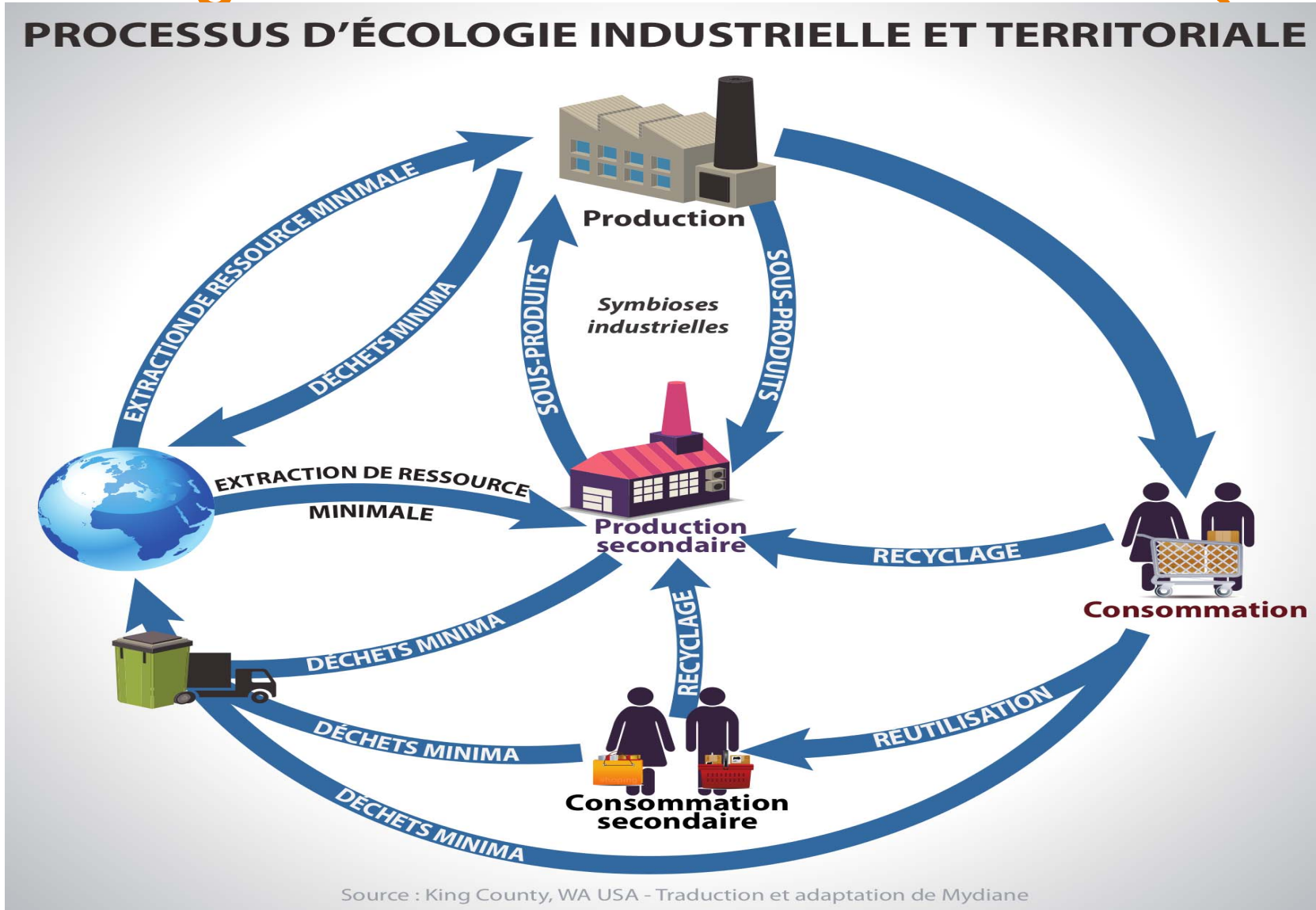
frederic.mortier@cerema.fr

***« Ils ne savaient pas que c'était impossible, alors ils l'ont fait »
(Mark Twain)***

Naissance du concept d'économie circulaire...

- 1970 : apparition du terme « écologie industrielle » sur le concept de symbiose industrielle (Danemark, Kalundborg)
- 1976 : notion du schéma en boucle de l'économie dans un rapport pour la Commission européenne « Jobs for tomorrow » Wallter Stahel , Geneviève Reday
- 1985-1989 : émergence du concept « cradle to cradle » du « berceau au berceau » et non pas du « berceau à la tombe »
- 1990 : apparition du terme économie circulaire «Economics of Natural Resources and the Environnement» David W. Pearce R. Kerry Turner et du concept zéro déchet.
- La 3ème révolution industrielle, Jeremy Rifkin (2011). Rapports de la fondation E. Mac Arthur (2012, 2013)
- En France création de l'Institut de l'économie circulaire : 2013
- 1ères assises nationales de l'économie circulaire : 17/06/2014
- SNTEDD 2015-2020 : 4 priorités économie circulaire et bas carbone

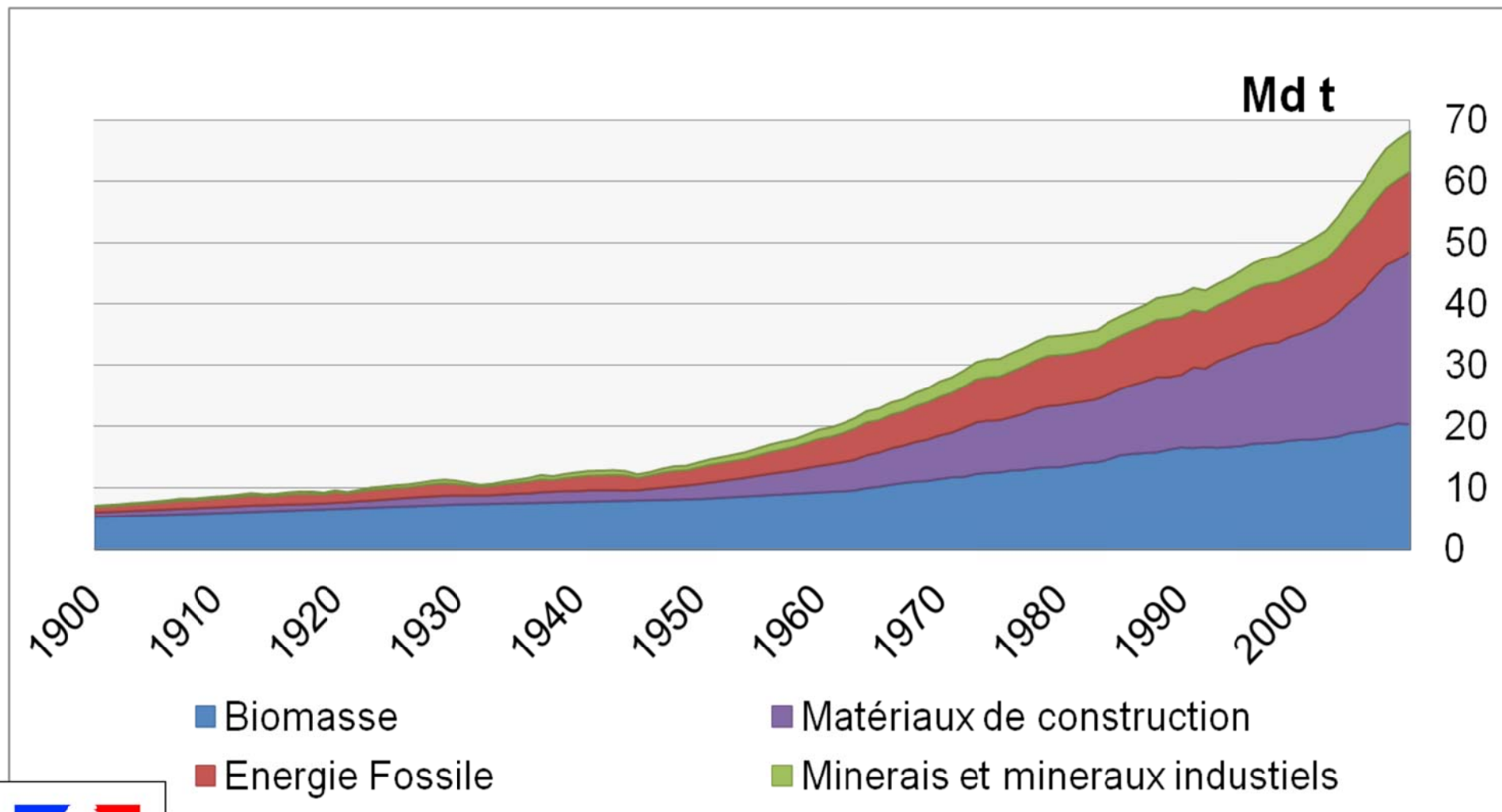
L'écologie industrielle et territoriale (EIT)



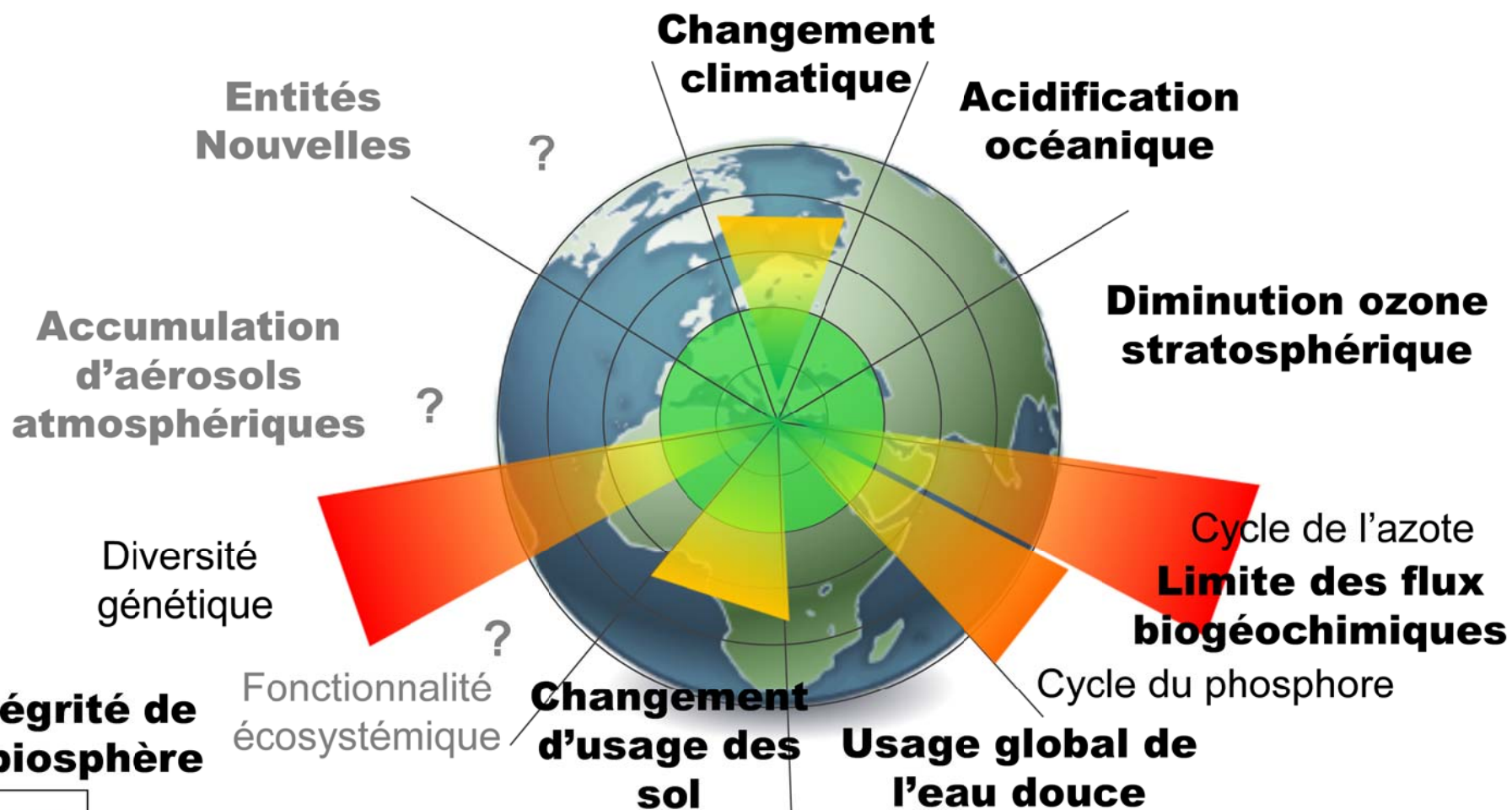
Le modèle économique linéaire n'est pas soutenable

- Le schéma économique linéaire « extraire-fabriquer-consommer-jeter » a atteint ses limites
- Un schéma qui se caractérise par une demande exponentielle de matières premières
- Une évolution démographique mondiale sur le long terme qui rend insoutenable ce modèle avec une population mondiale de + de 2 milliards d'individus d'ici 30 ans et + 3 milliards d'individus appartenant aux classes moyennes d'ici 15 ans : 11 milliards habitants en 2100
- Et des répercussions, au-delà des limites écosystémiques
 - en matière d'utilisation de ressources
 - d'émissions de gaz à effet de serre
 - et d'érosion de la biodiversité

Une demande exponentielle en matières premières



Au delà des limites écosystémiques



Graphique Ademe d'après Graphique Azote image/Stockholm Resilience Center-Johan Rockström et al Nature 2009, Will Steffen et al Science 2015

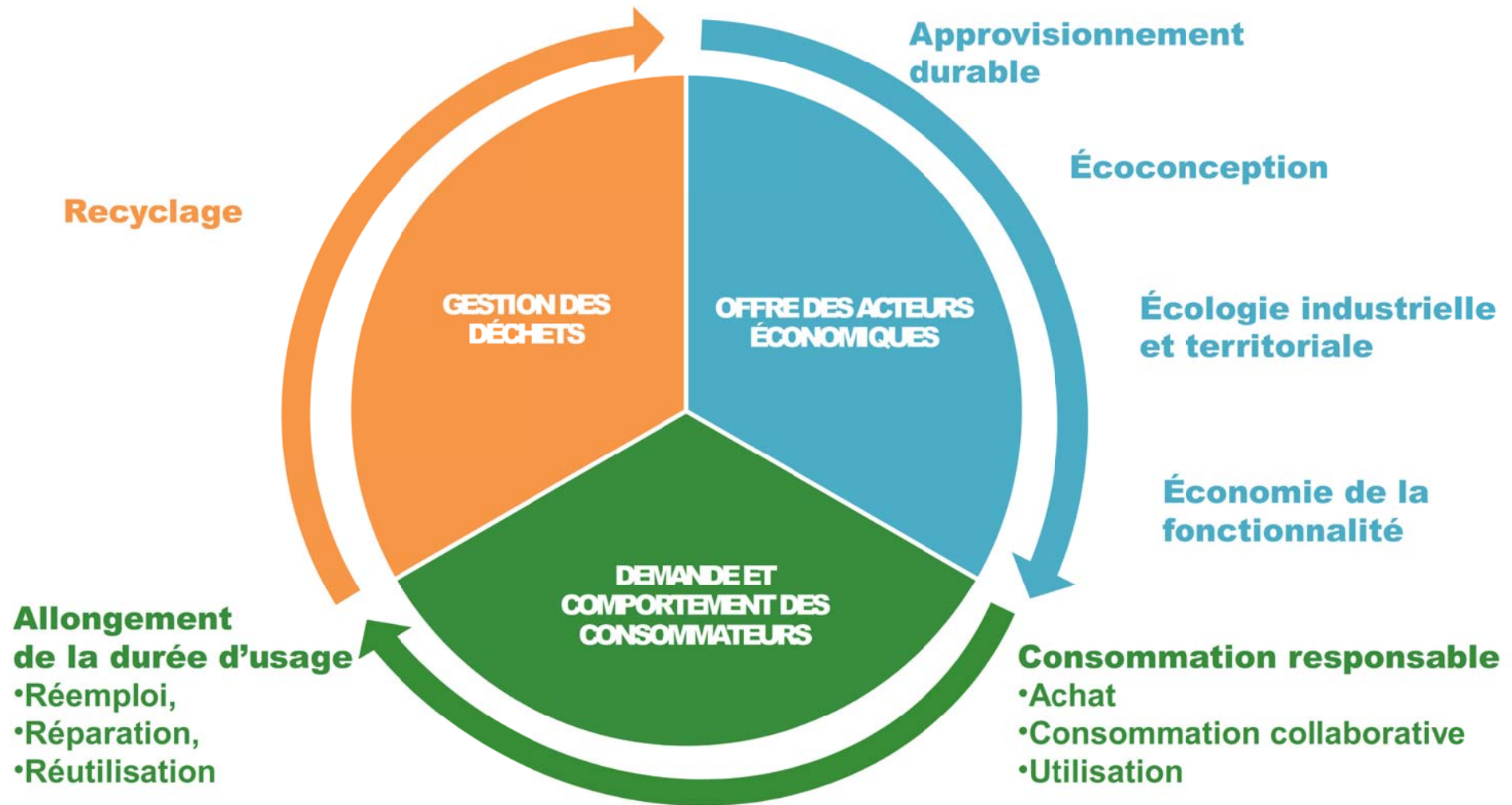


Les défis à relever

- Les ressources sont limitées, nécessité d'opter sur une utilisation au strict nécessaire et de valoriser le recyclage
- Nécessité d'accélérer la transition vers une économie plus économe en ressources, sobre en carbone réduisant la pression sur les écosystèmes
- Engager un développement économique « autrement »
- Ce qui implique d'arriver à découpler la production de richesses de la consommation de ressources naturelles

L'économie circulaire :

3 domaines d'action 7 piliers (ADEME/MEEM)



Les filières de recyclage... Et le secteur BTP en France

- 53 % des besoins en métaux couverts
- 50 % du papier, 67 % des emballages sont recyclés
- 85 % des véhicules hors d'usage sont valorisés
- 75 % des déchets sont issus du BTP : + de 247 Mt
- 345 Mt de déchets générés par BTP + industrie (SOES, CGDD, 2012)
- 349 Mt de granulats produits dont 23,4 Mt recyclés soit **7 %**



*Une marge de progrès forte
100 Mt de matériaux hors statut de déchets
réemployés avec ou sans traitement ?*

L'économie circulaire en quelques chiffres

Selon Emmanuel Macron, Bercy 27/04/16 :

- 86 milliards € de CA en France
- 800 000 emplois directs et indirects (FS 2016, F° EMA 2016)
- 135 000 emplois à créer à court terme (MEEM, MEIN, 2015)
- 630 milliards € pourraient être économisés par l'UE d'ici 2025 si le modèle était généralisé
- Environ 6 milliards € PIA seront consacrés à l'EC

Les enjeux de l'économie circulaire

L'EC porte des enjeux :

- écologiques
- économiques
- sociaux
- territoriaux
- et numériques...

En route vers « l' autrement »

Enjeux territoriaux

- **Renforcer la résilience des territoires face aux aléas économiques, aux conséquences du changement climatique et de la rareté des ressources**
- **Renforcer l'indépendance des territoires en matière de ressources en étant plus sobre et en développant la production d'énergies renouvelables**
- **Maintenir les activités et l'emploi par exemple en favorisant les effets de synergies entre entreprises et les activités du champ de l'économie sociale et solidaire**
- **Appliquer le principe de proximité : gestion des déchets, limiter le transport, filières courtes et intégrées...**
- **Mobiliser les acteurs publics, privés, citoyens autour de projets de territoires : symbioses industrielles, écotourisme, marché locaux de producteurs, coopératives, optimiser les filières de recyclage et valoriser les matières recyclées ...**
- **Renforcer l'attractivité des territoires par la qualité de vie, l'offre de services et la création d'emplois**

Les territoires à l'initiative

- Les premiers à l'origine de projets concrets
- Professionnels et ONG
- Régions, Départements, communes, Etat
- Industriels (CNI...), EP (Ademe, Cerema, ONF ...), PME, TPE
- Partenariat public privé (PPP)
- 100 actions des CCI (2014)
- Etc ...

Quelques exemples ...



Grand Prix - THE GREEN VALLEY : symbiose industrielle pour le développement local

- Site papetier européens, Norske Skog Golbey : 600 000 tonnes de papier, 400 salariés
- Initiative co-portée par territoire et industriel pour relancer l'économie locale
- Le projet : collaboration entre plusieurs industriels complémentaires du secteur du bois et de la construction, un pôle de compétitivité et des CT
- Mutualisation : achats de matière première, chaudière biomasse, récupération de vapeur, gestion des déchets ...
- **Résultat : réduction des investissements et des gains en compétitivité pour le nouvel acteur local, Pavatex, fabricant de panneaux isolants biosourcés : investissement de 60 millions d'euros, création de 50 emplois**

syndicat d'agglo avec Fos-sur-Mer, Istres ... :
un territoire en mutation (11900 emplois)

- Favoriser l'émergence de nouvelles filières de diversification économique, dont aéronautique, plate-forme industrielle PIICTO, plate-forme INNOVEX, filière éolien off shore ...
- L'expérimentation au stade industriel et l'écologie industrielle comme levier de développement économique et d'acceptabilité sociale. Acquisition de foncier
- Renouveler le foncier économique disponible
- Favoriser la montée en charge des formations supérieures dédiées pour accompagner le développement économique

Réutilisation des eaux pluviales à des fins industrielles



Eaux pluviales sont gérées **collectivement** et dirigées vers des bassins d'orage

Après **dépollution** → **fabrication d'eau industrielle**

L'eau industrielle est destinée aux besoins non nobles des entreprises. **Consommations évitées d'eau potable**, le **prix** de livraison est **2 X inférieur** à l'eau potable

« Re-use » : recyclage des eaux usées et économie en eau



Usine de L.A Californie (West Basin) de recyclage des eaux usées selon 5 qualités de traitements possibles selon usages : irrigation, arrosage , eau industrielle, eau réinjectée dans la nappe...

Production : 240 000 m³ jour = équivalent 1 million d'habitants

Gains : économie d'eau puisée dans la nappe ou importée, coût de revient 50 % moins élevé que l'eau importée, pas de conflit d'usage de l'eau en période de sécheresse...

Vers une économie circulaire des matériaux du BTP



Collonges (69) : réalisation d'un plot routier en mâchefers d'incinération de déchets non dangereux (MIDND)
(source Cerema)



Hauteluce (73) : réalisation d'un plot routier en laitier sidérurgique
(source Cerema)

**Et les terres excavées : Construction réseau Grand Paris Express = 40 Mt
SGP : gérer les déblais par une valorisation est une priorité de DD**

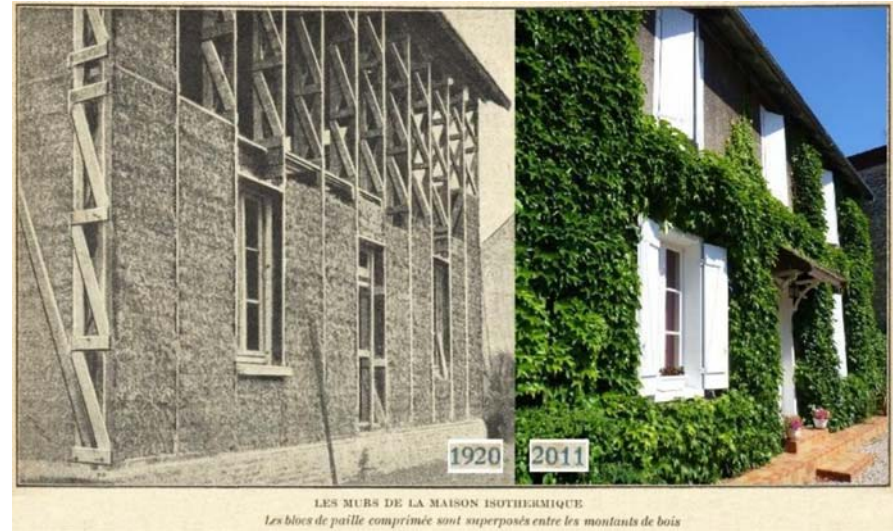
Vers une économie circulaire des matériaux du BTP : activité du Cerema

- Gérer, recycler les déchets, aider à concevoir et intégrer des matériaux du BTP respectueux de l'environnement
 - Produire des guides méthodologiques sur l'usage de matériaux alternatifs
 - Suivre des expérimentations et effectuer des retours d'expérience chantiers
 - Apporter un appui aux territoires pour l'usage des déchets recyclés en maîtrisant les risques
 - Mieux connaître les gisements de ressources secondaires et primaires
 - Développer les partenariats
- Développer l'écoconception infrastructures et bâtiments : ACV, maîtrise de risques, potentiel de recyclabilité ...



Les matériaux biosourcés

- Des savoirs faire locaux
- Intérêt environnemental : faible énergie grise, réduction de la consommation de ressources naturelles non renouvelables, captage de CO2
- De nombreux verrous à lever
- Le Cerema acteur :
 - RDI technologique
 - normalisation et réglementation
 - appui aux filières et acteurs
 - formation, capitalisation, diffusion des connaissances



Maison Feuillette en paille (1921)



Atelier Desmichelle Architecture (2009)

Sédiments : projet SEDI FLUV (2016-2019)

Objectifs :

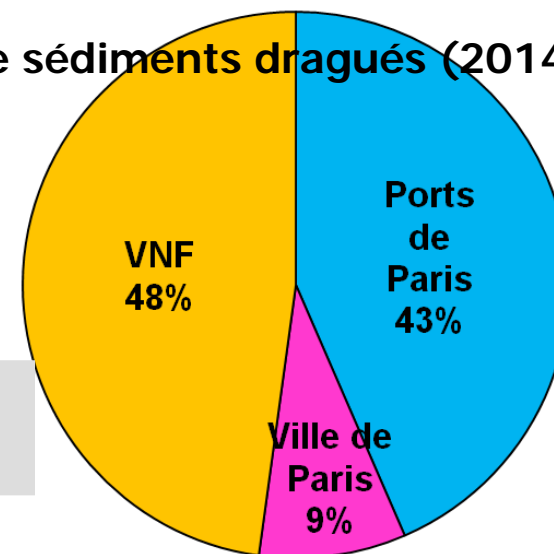
- méthodologie de valorisation pour béton et briques
- formulation selon usages, stabilité du matériaux, impact économique et environnemental, démonstrateurs

60 M m3 de sédiments dragués par an en moyenne dans les ports et les fleuves en France



Dragage réalisé par VNF au pied de Notre Dame (VNF)

Gisement en Île de France
115 000 m³ de sédiments dragués (2014)



Des clés pour la promotion de l'économie circulaire dans les territoires

- Répondre à des attentes, des besoins, des demandes de solution
- Repérer les synergies potentielles et possibles
- Travailler ensemble : une volonté des acteurs
- Animer le rapprochement entre des acteurs : mobilisation, transversalité, lieux et moments de rencontre, configuration pluridisciplinaire
- Disposer d'un cadre législatif et réglementaire incitatif
- Disposer de financements adaptés : « l'investissement patient »
- Créer et innover

Des clés pour la promotion de l'économie circulaire dans les territoires

- Définir et porter des projets viables (modèle économique) en bénéficiant d'accompagnement : AMO, conseil, expertise
- Disposer de foncier notamment pour l'EIT
- Former pour changer les pratiques
- Évaluer : retour d'expérience, bilan, indicateurs et transfert
- Mutualiser les expériences : plate-formes territoriales, IEC...
- Communiquer et sensibiliser
- Agir en effet levier : importance de la commande publique avec ses clauses environnementales et économie circulaire : % d'usage de matériaux recyclés pour les infrastructures routières ou le bâtiment, « achats exemplaires » de l'État et des CT...

Enjeux nationaux

- Loi transition énergétique sur la croissance verte (LTECV) 08/2015, Titre IV : la transition vers l'EC est un objectif national avec mesures pour :
 - production et consommation durables
 - gestion des déchets avec des objectifs de recyclage
 - lutte contre le gaspillage
 - développement des REP
 - promotion EC et écoconception



***BTP : structuration filière déchets, sites de reprise...
Objectif : 70 % de valorisation des déchets en 2020***

Enjeux nationaux

- **Appels à projets** « zéro déchet, zéro gaspillage », « TEPCV », « 1500 méthaniseurs en milieu rural », « investissement via les PIA »...
- **Engagements pour la croissance verte (ECV)**, issus des « green deals » danois, contractés entre l'État et le monde de l'entreprise pour lever les freins et innover (pas de flux financiers)

Deux exemples signés en avril 2016 :

- Déchets de plâtre (St Gobain) : X4 recyclage = 250 000 T/an
- Valorisation déchets inertes du bâtiment (UNICEM, UNPG, Béton prêt à l'emploi...) : faciliter le recyclage et l'écoconception

Enjeux européens et internationaux

- **UE a adopté « un paquet économie circulaire » (02/12/15)** qui est une feuille de route « transition vers l'EC dans les Etats membres » : objectifs, mesures, plan d'actions de la production à la consommation comprenant des critères environnementaux, de compétitivité et de création d'emplois
- **UE a initié les « innovations deals » :**
 - Identifier dans les textes les facilitations et les freins à l'EC
 - Stimuler l'innovation via le programme H2020 industry 2020 *in the circular economy*
- **Des règles de concurrence équitables entre Pays** sont nécessaires y compris au-delà de l'UE

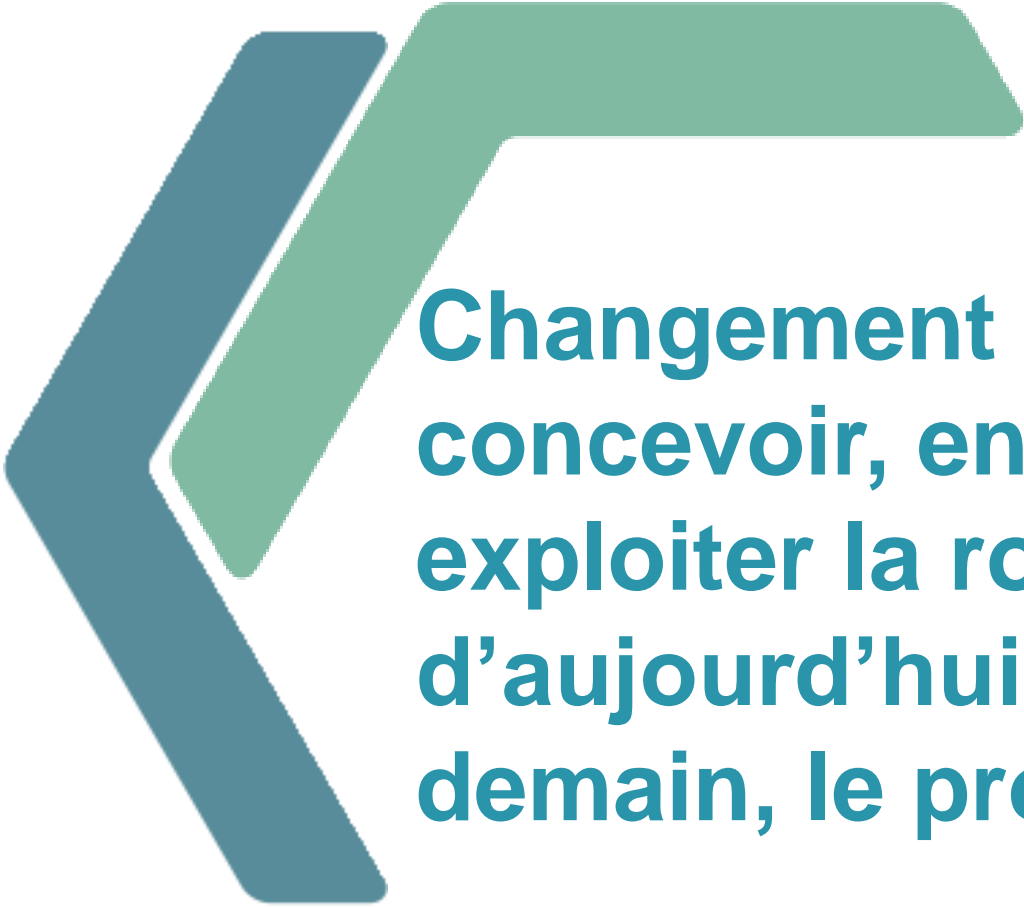
« La transition écologique est un enjeu mondial, l'économie circulaire est l'industrie du futur » (Frédéric St Geours, VP CNI, Président du conseil de surveillance SNCF, 2016)

« Un des principes de l'économie circulaire est d'être une synthèse entre les dimensions économiques, écologiques et sociales, pour une société plus sobre en carbone et ressources, une économie de partage et plus solidaire avec une création d'emplois non délocalisables dans les territoires » (François Michel Lambert, député, Président de l'Institut de l'économie circulaire, 2015)

Merci de votre attention

www.cerema.fr

Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 80369674 Bron Cedex
Tél : +33 (0)4 72 14 30 30



Changement climatique : concevoir, entretenir, exploiter la route d'aujourd'hui et l'adapter pour demain, le projet ROADAPT



Martial Chevreuil



Plan de la présentation

- **CONSTAT**
- **HISTORIQUE**
- **LE PROJET ROADAPT**
 - Données et informations sur le climat
 - Méthode Quick-scan
 - Évaluation de la vulnérabilité
 - Évaluation socio-économique
 - Mesures d'adaptation
- **CONCLUSION**

Un constat



> Constat

Le dernier rapport du GIEC :

- élévation des températures
- Une montée du niveau des océans
- Des phénomènes météorologiques extrêmes de plus en plus fréquents sous des latitudes inhabituelles.

La COP 21 :

- Faire face à ce « dérèglement »
- Maintenir l'élévation des températures à moins de 2° C
- Objectif très difficile à atteindre.

Les infrastructures, la route (majorité des déplacements) sont affectées par ces évolutions :

- Dégâts à la suite d'évènements extrêmes,
- Impraticables pendant de longues périodes.

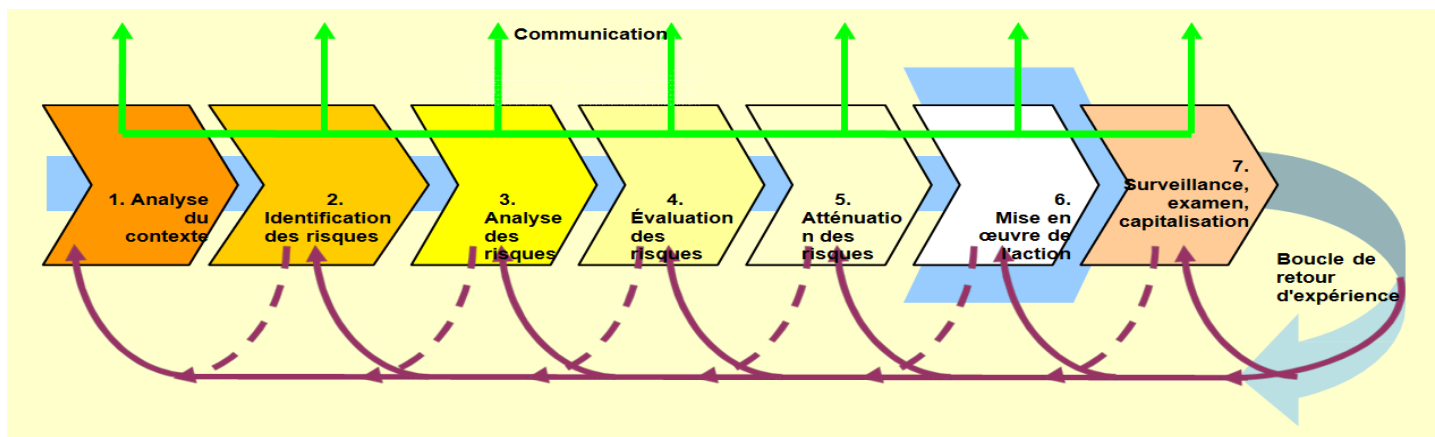




Historique : projets routes et changement climatique

Projets route et changement climatique

- **GeRiCi™** (RGCU en 2003) : Gestion des Risques liés au Changement Climatique pour les Infrastructures et les territoires. Partenaires : Deux sociétés d'autoroute : SANEF et ASF, LCPC, Météo France et ESRI
 - Méthode d'analyse de risques climatiques sur réseau routier
 - Outil de simulation sur SIG (prévention/alerte)
 - Mesures palliatives
- **RIMAROCC** (Risk Management for Roads in a Changing Climate) financé par la CEDR, consortium européen conduit par le Swedish Geotechnical Institute et comprenant EGIS, le Norwegian Geotechnical Institute et Deltares.



Le Projet ROADAPT



Le Projet ROADAPT

AAP CEDR 2012 : Road owners adapting to climate change



Les livrables du projet : un ensemble de recommandations intégrant les résultats de RIMAROCC et comportant plusieurs parties :



A. Utilisation des projections de changement climatique
B. Application d'une méthode «QuickScan » pour l'identification rapide des risques pour les routes.



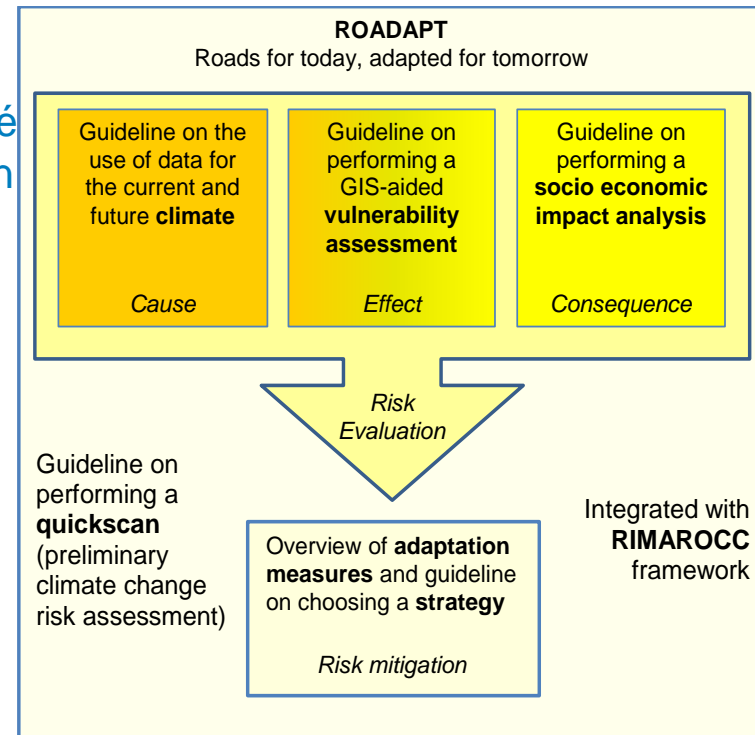
C. Comment conduire une évaluation détaillée de la vulnérabilité
D. Comment conduire une évaluation des impacts socio-économiques.



E. Comment mettre en place une stratégie d'adaptation.

Trois études de cas :

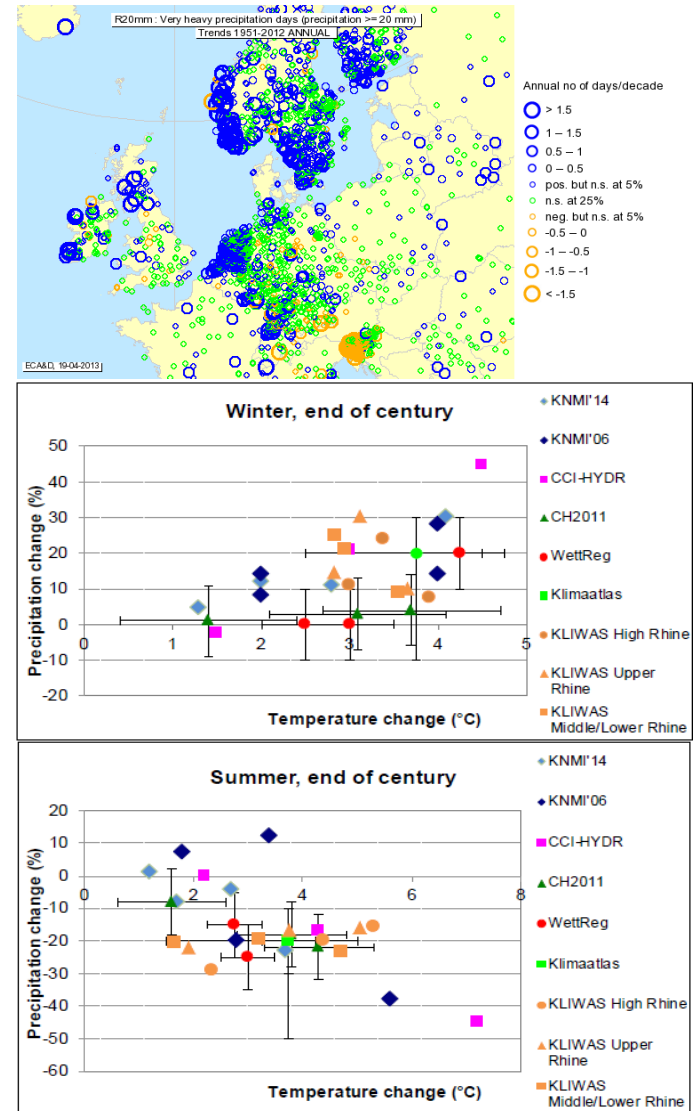
- l'autoroute A24 au Portugal,
- Le corridor Rotterdam – Ruhr
- La région Øresund.



Données et informations sur le climat (1/2)

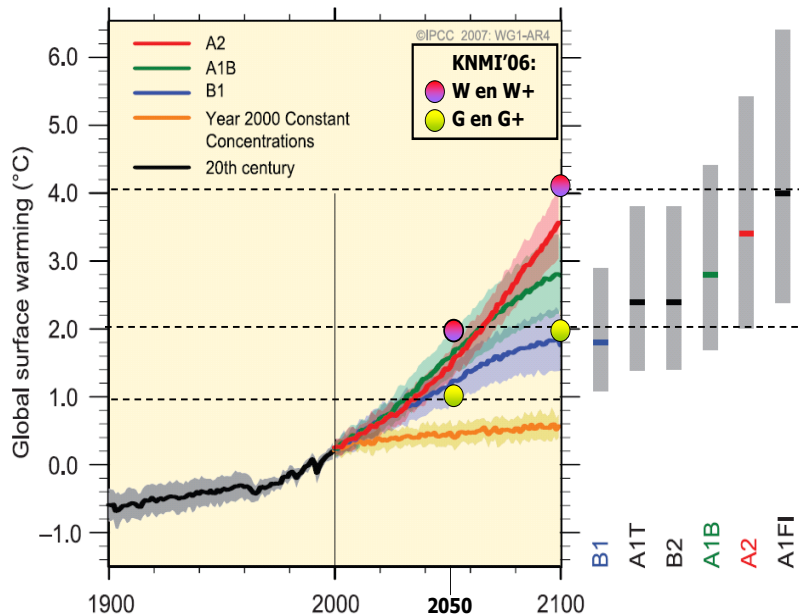
Plusieurs difficultés dues à la « jeunesse » des études et modèles sur le climat.

- 1^{ère} étape :
 - choisir la période de référence. 1981 – 2010 considérée comme préférable à la période 1961-1990
 - horizon de l'étude, en fonction de la durée de vie des différents composants du patrimoine (chaussée, ponts, équipements, ...)
- 2^{ème} étape : accès et analyse des données:
 - Hétérogénéité, densité, qualité
 - Données manquantes
 - Cohérence entre pays
 - Choix du modèle (150 modèles différents depuis 1950)



Données et informations sur le climat (2/2)

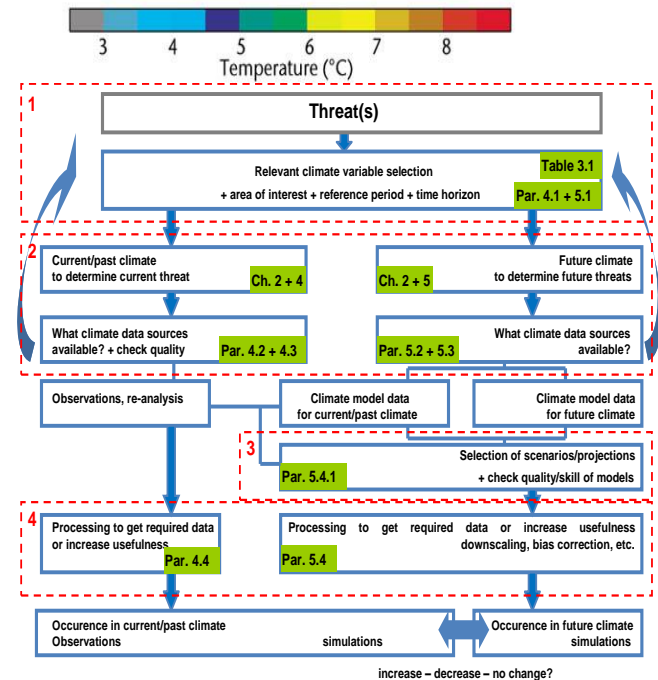
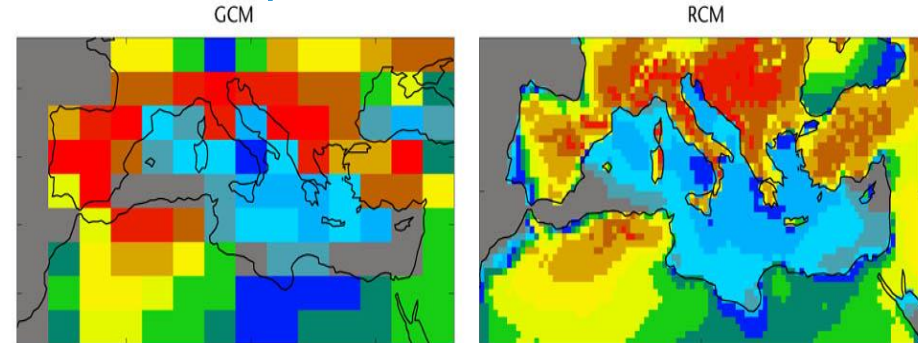
- 3^{ème} étape : choix de scénarios.



Plus d'infos sur par ex :
<http://www.drias-climat.fr/>

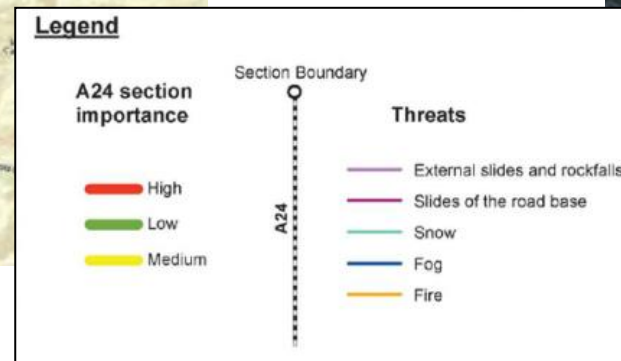
- Synthèse : intégration dans la démarche ROADAPT

- 4^{ème} étape : descente d'échelle.



Méthode Quick-scan

- Une méthode basée sur le brainstorming, l'intelligence collective
- Trois ateliers de travail avec le staff technique des opérateurs routiers
 1. Présentation de l'approche, analyse des aléas et de leurs conséquences
 2. Identification et localisation de risques majeurs
 3. Détermination d'un plan d'action



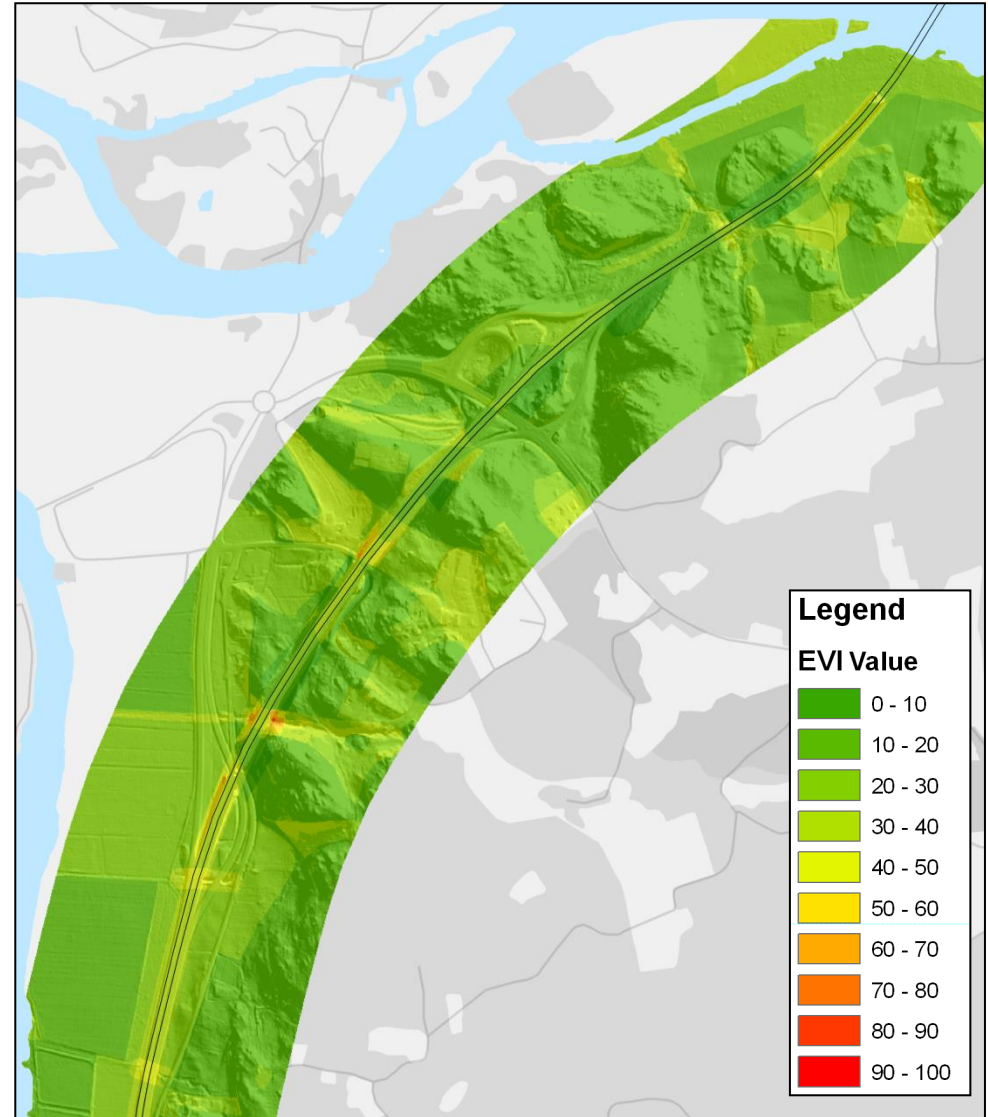
Etude de cas : Portugal A24

Evaluation de la vulnérabilité

- Pour chaque menace, identification des facteurs de vulnérabilité.
- Chaque facteur est localisé et noté sur un SIG de 0 à 2.
- Les différences couches du SIG sont rasterisées et les notes de vulnérabilité sont ajoutées, normalisées par cellule.

➤ Carte de vulnérabilité

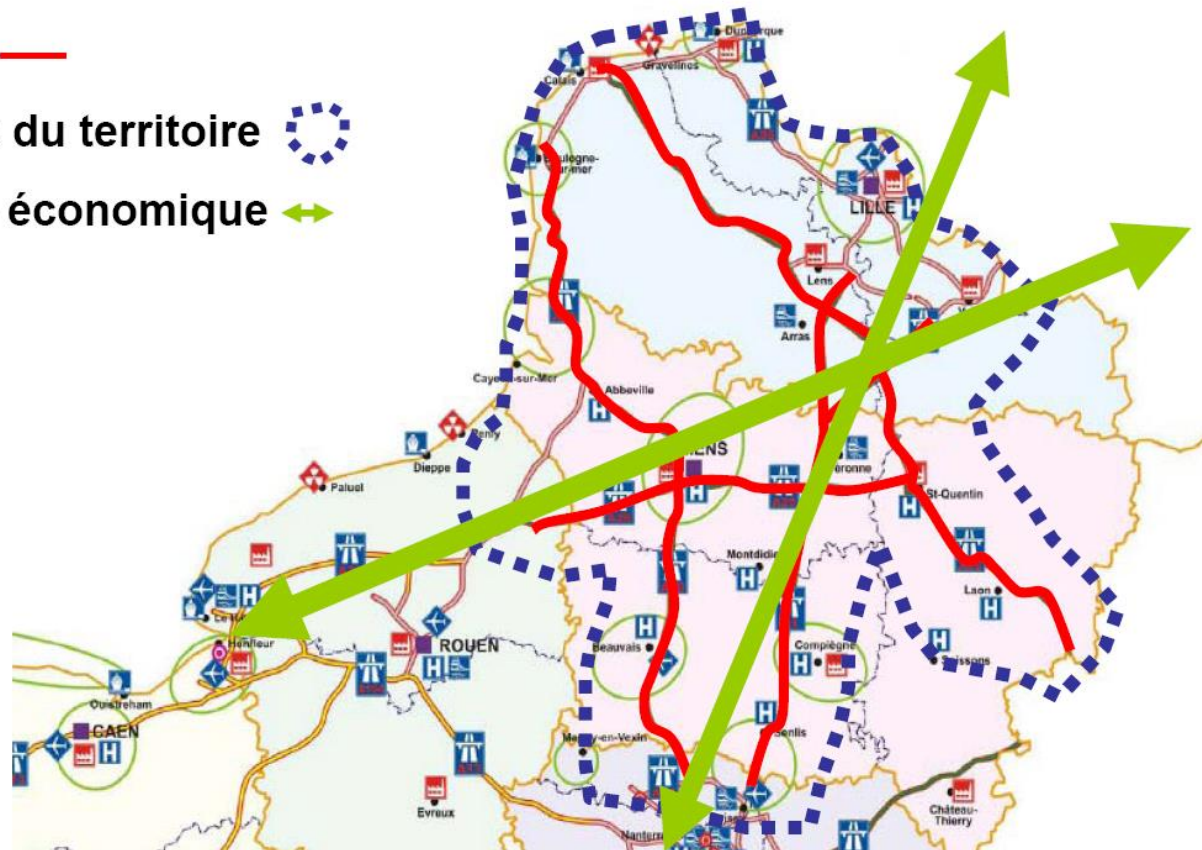
Vulnerability factor	Vulnerability score		
	0	+1	+2
Geology (soil type in natural soil)	Material with low sensitivity to erosion (sedimentary rock, till, clay)	Somewhat erosive material (gravel, coarse sand, silty till, clayey silt, silty clay, peat)	Highly erosive material (fine and medium sand, silt, flood-plain deposits)
Topography/slope angle	less than 1:3	1:1.5 - 1:3	more than 1:1.5
Observed erosion	No	-	Yes
Existing erosion protection	Yes	-	No
Land cover / vegetation	Forest, built-up areas, paved surface, dense vegetation	Arable land, scarce vegetation, solitary trees	disused arable land, other open land, very scarce vegetation, bare soil
Culvert/drum	No culvert or drum crossing road	-	culvert or drum crossing road within 20m from point of evaluation
Inspection interval	Road is inspected more than once per 2 years	Road is inspected every 2-5 years	Road is inspected less than once per 5 years
Hydrography	Distance to watercourse is more than 300m	Distance to watercourse is 100 - 300m	Distance to watercourse is less than 100m



Evaluation socio-économique (1)

- 3 niveaux d'évaluation (idem GeRiCi™).

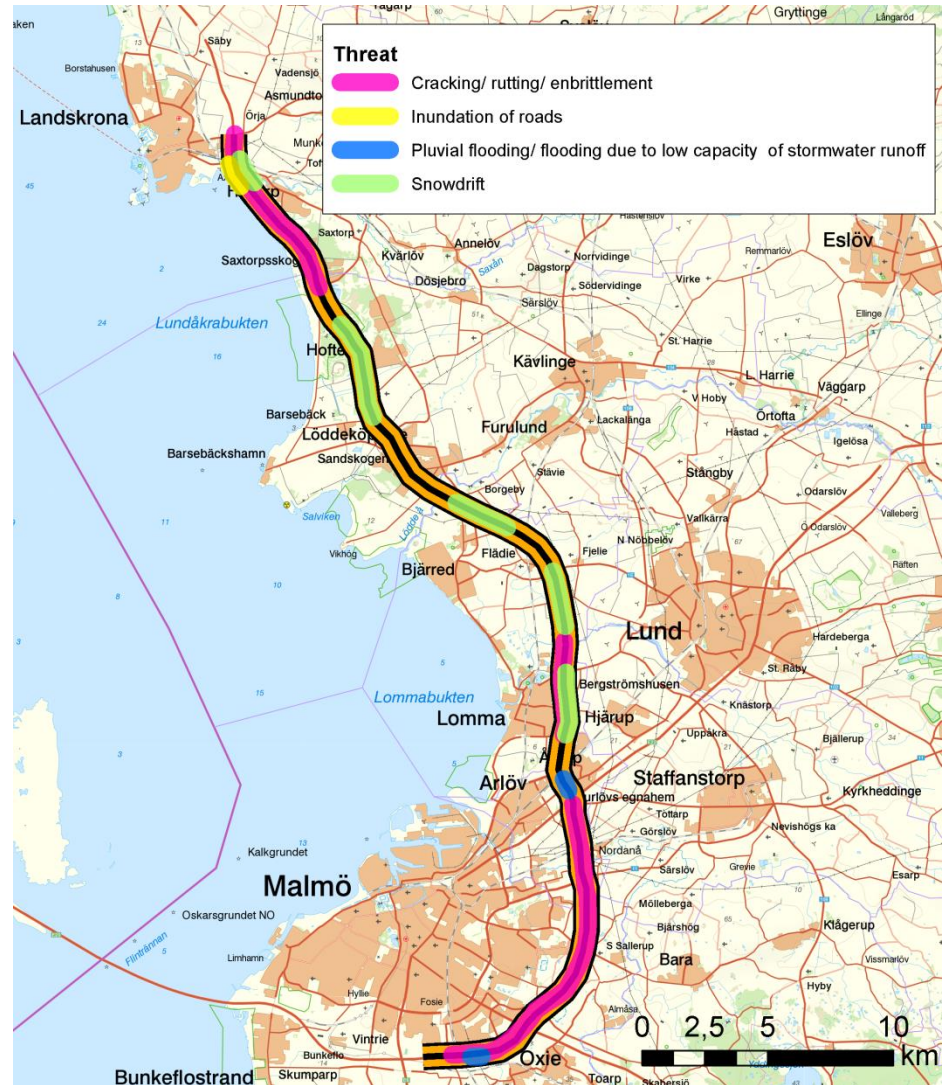
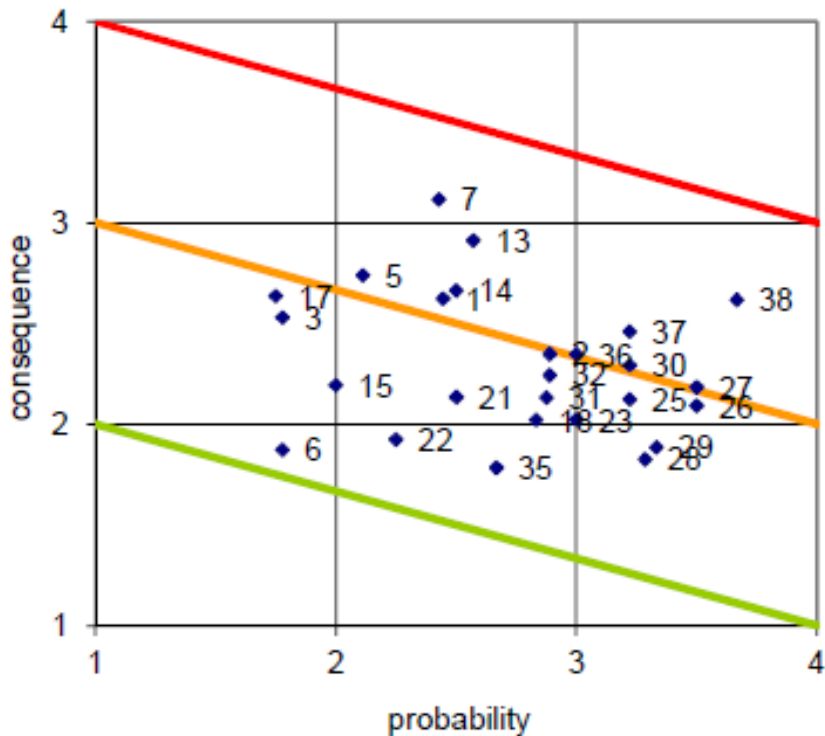
- ▶ Le réseau —
- ▶ La desserte du territoire ○
- ▶ Le système économique ↔



Evaluation socio-économique (2)

- Carte des risques (étapes précédentes)
 - Prise en compte du trafic
 - Hiérarchisation

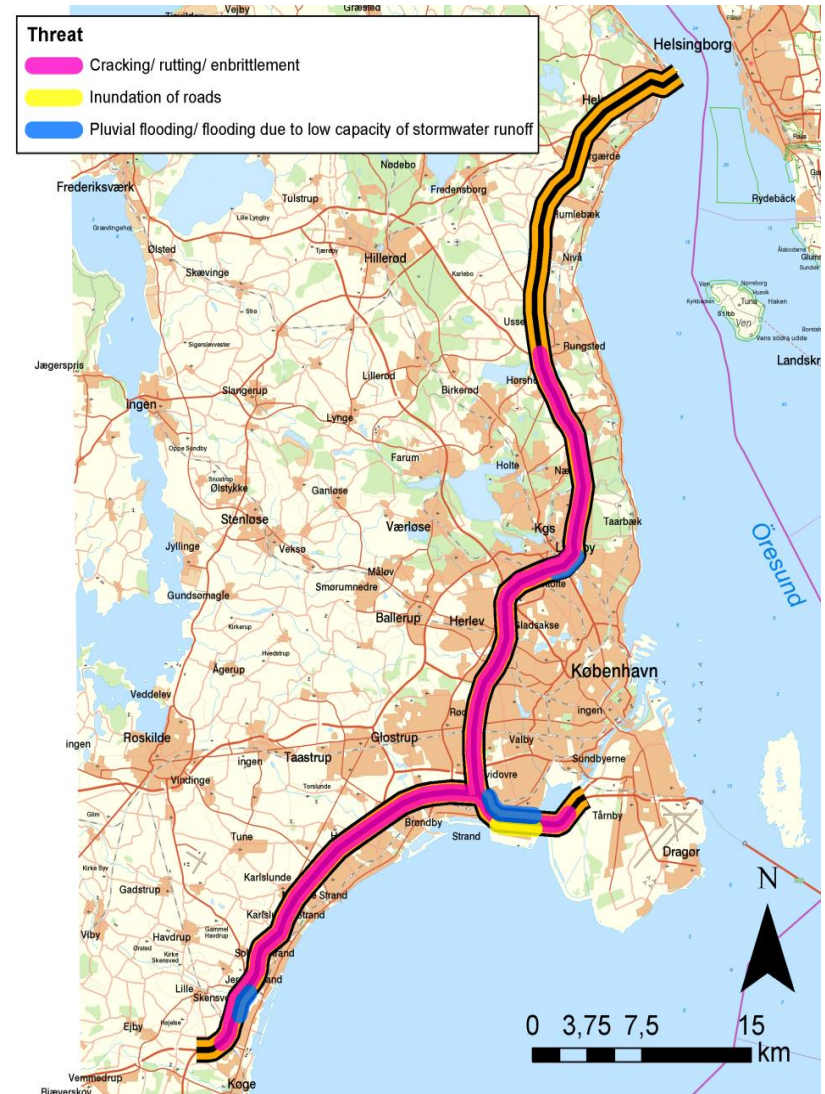
Future risk of threats



Evaluation socio-économique (3)

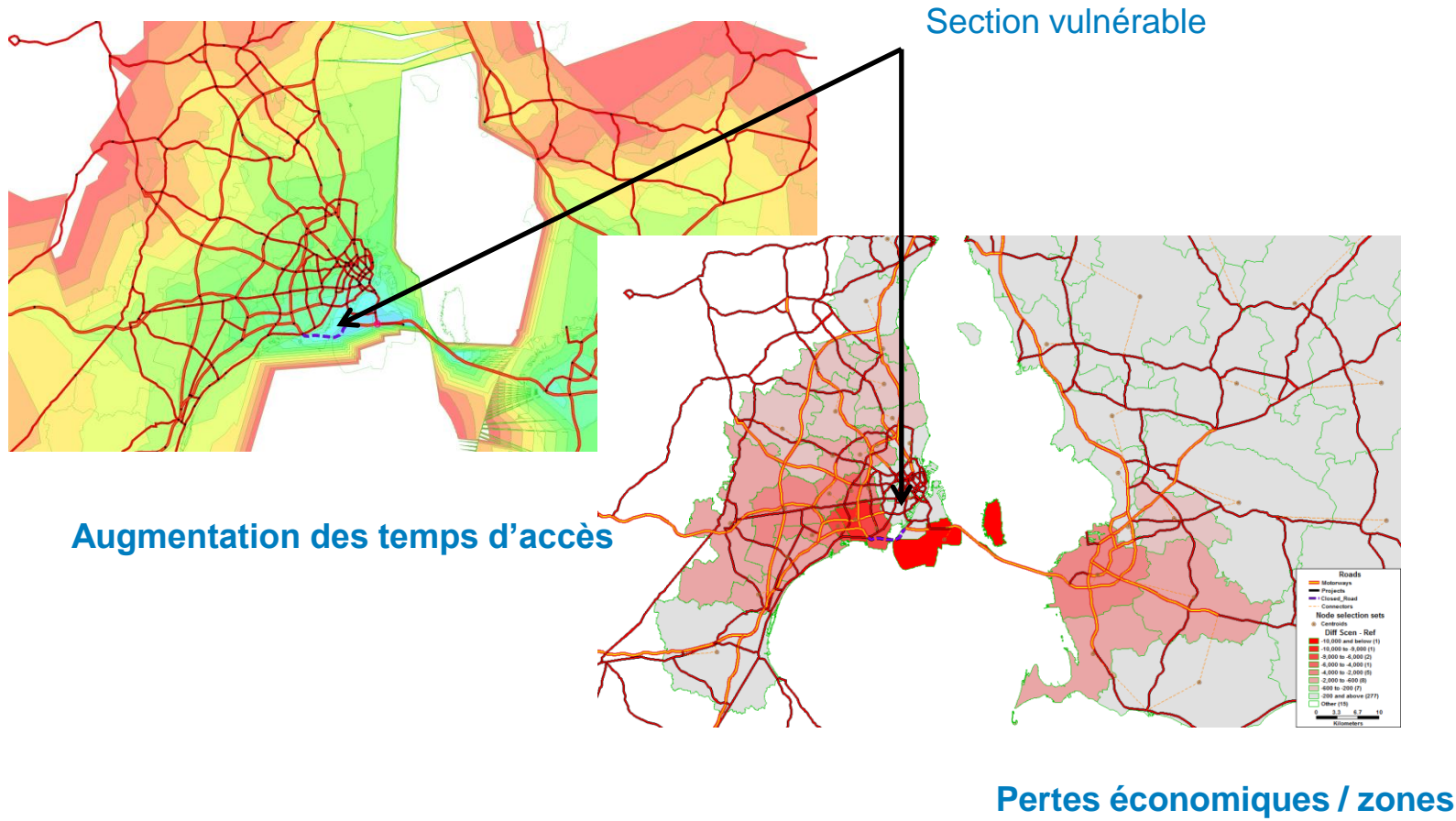
- Exemple de niveau réseau : la région Øresund (Danemark)

	Value for Car	Value for HGV	Total (Car+HGV)
Duration of incident (days)	3		
Number of vehicles per day (Car+Truck)	50 000	10 000	60 000
Individual distance travelled moreover (km)	10		
Unit cost per km (€/km)	0,1	0,5	
Total cost for user (€)	150 000	150 000	300 000
Individual time loss (h)	0,5	0,5	
Value of time (€/h)	15	45	
Total loss time in €	1 125 000	675 000	1 800 000
Total loss (€)	1 275 000	825 000	2 100 000



Evaluation socio-économique (4)

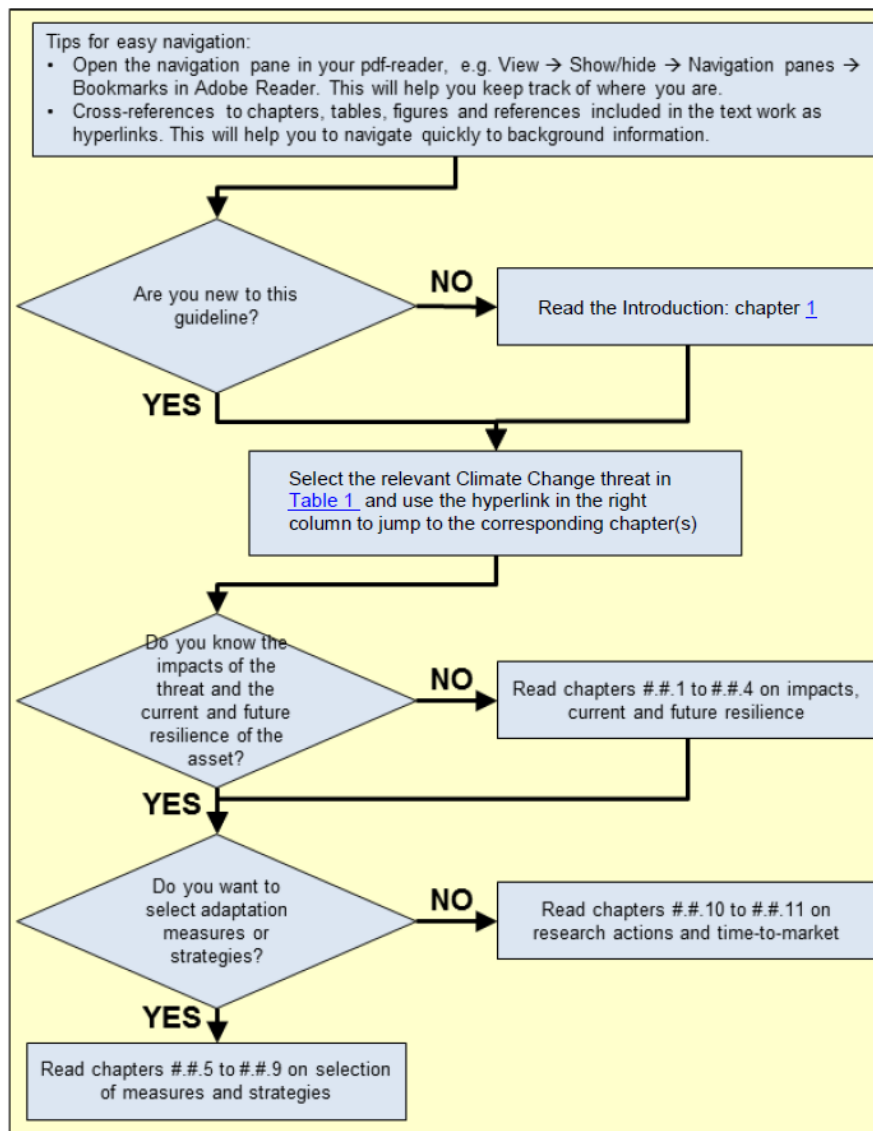
- Pour desserte de territoire ou système économique global : nécessité d'utiliser des modélisations.



Comment mettre en place une stratégie d'adaptation

Une approche simple,
pratique et interactive

Nombreux conseils
pour une utilisation
facile




Une démarche en 10 étapes, destinée à établir une stratégie « sur mesure »

1. Quels sont les besoins du maître d'ouvrage / opérateur ?
2. Quelles sont les variables climatiques pertinentes ?
3. Quelle est la résilience des composantes structurelles ou opérationnelles de l'infrastructure en situation climatique actuelle ?
4. Quelle est la résilience de ces composantes en situation climatique future ?
5. Quelles sont les mesures d'adaptation applicables / appropriées ?
6. Quelles sont les différentes stratégies d'adaptation envisageables ?
7. Quelle est la stratégie la plus appropriée ?
8. Quelles sont les parties prenantes devant être impliquées ?
9. Quelles sont les difficultés rencontrées ?
10. Quels sont les délais d'attente (mesures issues de la R&D) ?

Mesures d'adaptation


- Un outil d'aide à la décision : la base de données ROADAPT






Conférence Européenne
des Directeurs des Routes
Conference of European
Directors of Roads

ROADAPT

Roads for today, adapted for tomorrow
Selection of adaptation measures and strategies for mitigation



Enabling Delta Life



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Main Threat

- 01 Flooding of road surface (assuming no traffic is possible)
- 02 Erosion of road embankments and foundations
- 03 Landslips and avalanches
- 04 Loss of road structure integrity
- 05 Loss of pavement integrity
- 06 Loss of driving ability due to extreme weather events
- 07 Reduced ability for maintenance

Specific Threat

- 01-1 flooding due to failure of flood defence system of rivers a...
- 01-1 Flooding due to failure of flood defence system of rivers a...
- 01-2 Pluvial flooding (overland flow after precipitation, increas...
- 01-2 pluvial flooding (overland flow after precipitation, increas...
- 01-3 Inundation of roads in coastal areas, combining the effect...
- 01-4 Flooding from snow melt (overland flow after snow melt)

Asset type

- All road infrastructure
- Drainage of earthworks and pavements, sewers
- Geotechnics, including landslips and rock falls, cuts
- Mobility service
- Pavements: bituminous, concrete, semi-rigid

Measures

Mesures d'adaptation / catégories

STAGES	PRO-ACTION	PREVENTION	PREPARATION		RESPONSE		RECOVERY
			In preparation of an extreme event	Just before an extreme event	During an extreme event	Just after an extreme event	After an extreme event
OBJECTIVES	<i>Enable smooth and safe traffic</i>		<i>Support disaster consequence reduction</i>	<i>Evacuation route, life supply route</i>	<i>Minimizing loss of functions</i>	<i>Supply route for repairs and humanitarian aid</i>	<i>Supply route for recovery of affected area</i>
Planning for CCI&EWE	Pro-active attitude	Prevention	Extreme event management				Corrective Maintenance and Replacement
Robust construction							
Legislation , regulations							
Resilient construction		Upgrade, retrofit, new construction	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 'Do minimum' and 'Develop contingency plans' strategy 'Future-proof designs', 'Retrofit solutions' and 'Update operating procedures' strategies 'Monitoring' strategy 'Research' strategy </div>				
Maintenance and management		Preventive Maintenance and Replacement					
Traffic management for CCI&EWE		Traffic management					
Capacity building	Capacity building						
Monitoring	Monitoring and prediction						
Research	Research						

CCI&EWE = Climate Change Impacts and Extreme Weather Events

PRO-ACTION phase: aims to rule out the possibility of an extreme event, e.g. flood defences to prevent flooding

PREVENTION phase: aims to eliminate vulnerability, e.g. raising a road above the High Water Level

PREPARATION phase 1: aims to reduce consequences, e.g. erosion proofing of a road

PREPARATION phase 2: aims to support evacuation, e.g. provide shelter locations

RESPONSE phase 1: aims to minimize damage, e.g. shutting down systems

RESPONSE phase 2: aims to guide emergency transport, e.g. restricting heavy traffic on saturated roads

RECOVERY phase: aims to restore transport functionality, e.g. deployment of repairs

Conclusion



> Conclusion

- Une démarche intégrée RIMAROCC-ROADAPT
- Une boîte à outils : approche du risque climatique, QuickScan, Roadapt VA, Evaluation socio-éco, BD adaptation
- Les points positifs :
 - Méthodes d'identification, visualisation des vulnérabilités
 - Un catalogue de mesures (qui ne demande qu'à être enrichi)
- Les points d'attention :
 - Les données climatiques : dialogue avec climatologues indispensable
 - Evaluation socio-économique nécessite une modélisation (assez lourd)
- Suite : information dans les différents pays (langue, formation)

CONGRÈS DE L'IDRIM

Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité



Merci de votre attention



Etude ACV d'une infrastructure routière



École des Ponts
ParisTech



Yannick Tardivel – CEREMA / DTecITM
Adélaïde Feraille – Ecole des Ponts Paris Tech / Navier
Anne de Bortoli – Ecole des Ponts Paris Tech / LVMT

1 Définition de l'étude



> Problématique

Enjeux majeurs de la route pour le développement des territoires
MAO et gestionnaires dont le réseau présente de grandes disparités

Longueur des réseaux (km)	Autoroutes	Routes nationales	Routes départementales	Voies communales
France métropolitaine	11 465	9 784	377 965	666 343

Sources : SOeS ; Service d'études techniques des routes et autoroutes (SETRA) ; Direction Générale des Collectivités locales – INSEE 2013

Contexte contraint :

- obligation de résultats en termes de baisse d'émissions de GES, de préservations des ressources énergétiques et minérales
- budgets d'entretien contenus ou en baisse

- Repenser la conception et l'entretien des infrastructures de transports au travers d'une approche holistique
- Evaluer les marges de progressions envisageables
- Orienter les recherches et innovations en termes d'éco-conception des routes



> Objectifs

1. Réaliser une étude d'Analyse de Cycle de Vie d'une infrastructure routière selon un modèle prenant en compte **chaussées, ouvrages d'art et trafic**
2. Établir et comparer des **scénarios d'entretien** considérant le trafic des usagers et les mesures d'exploitation associées
3. Identifier les **paramètres déterminants** (entrants et processus) vis-à-vis des résultats
4. Evaluer les **gains potentiels** en termes d'impacts environnementaux
5. Proposer des **leviers** permettant de concevoir et entretenir une infrastructure routière dont la fonction serait remplie à moindre coût environnemental



- Etude prospective visant à identifier les paramètres importants et les gains envisageables
- Analyse selon un axe environnemental
- Focus sur l'influence des scénarios et opérations d'entretien routier

> Focus : ACV et éco-conception

ACV

1. Analyse de Cycle de Vie : méthode d'évaluation environnementale
2. Contexte normatif international [EN ISO 14040]
3. Compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie
4. Identifie les principales sources d'impacts et évite les transferts de pollution

ECO CONCEPTION

1. Approche globale, multi-étapes et multi-critères
2. Examine les relations existantes entre les choix de conception et les flux de matière et d'énergie qui en résultent sur le cycle de vie
3. S'appuie sur l'ACV pour proposer des solutions plus performantes :
 - matériaux (faibles impacts, ressources renouvelables, recyclables, ...)
 - mise en œuvre (toxicités, consommation d'énergie, gêne à l'utilisateur, ...)
 - conception évolutive (changement d'usage, de contexte économique, changement climatique, ...)

2 Paramètres ACV



> ACV – Éléments cadre de l'étude

Normes

- Normes ISO 14040 et 14044
- Norme NF EN 15804 – Contribution des ouvrages de construction au développement durable – Déclarations environnementales sur les produits

Paramètres

- Etude des paramètres d'entretien spécialisé ayant une influence directe sur le trafic (i.e. associés à des mesures d'exploitation générant des perturbations importantes)
- Paramètres représentatifs des principales configurations d'exploitation routière en phases travaux (alternat, déviation)
- Pas de projection en terme d'évolution de consommation et d'émissions des véhicules
- Pas de projection en terme d'évolution de trafic

UF

- **Tronçon d'infrastructure routière composé d'une chaussée à 2 voies de circulation d'une longueur de 1000 m et de 2 ouvrages d'art, assurant le trafic de 600 PL et 6000 VL/jour pendant 100 ans**

Frontières du système

Périmètre structurel

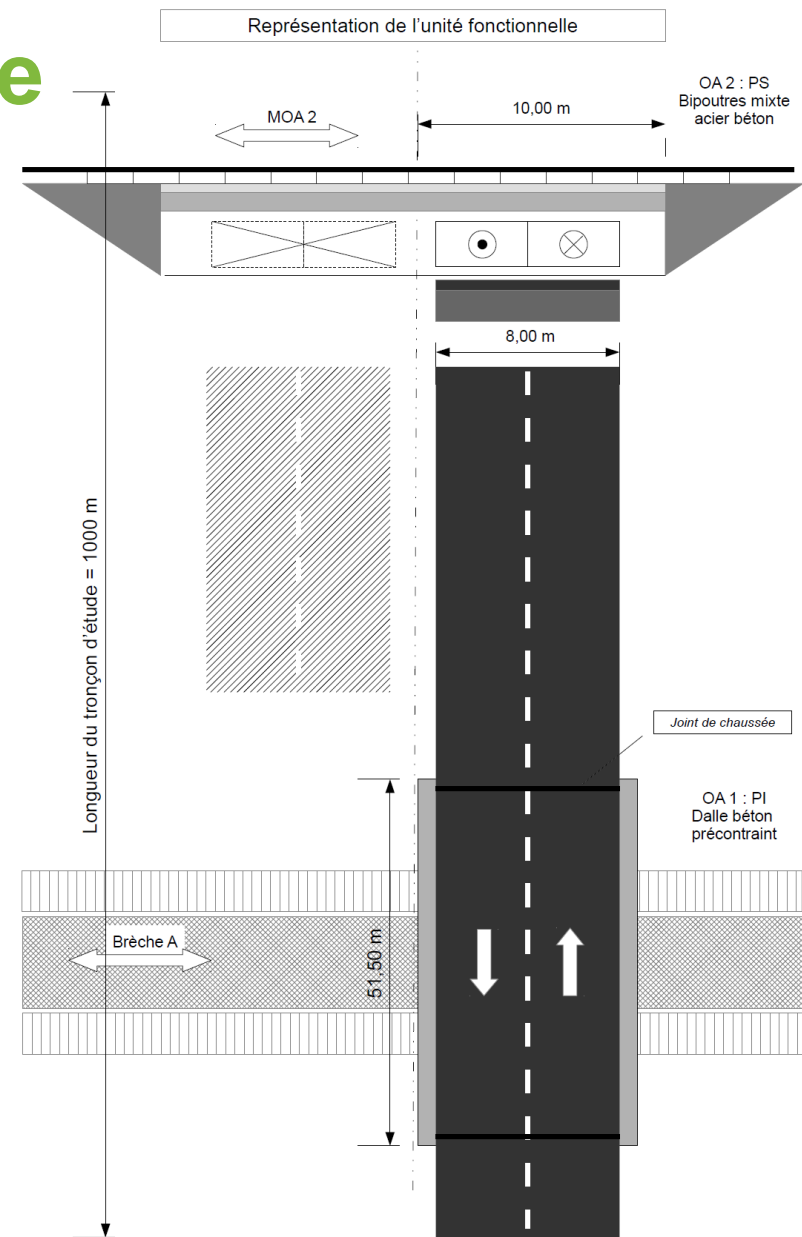
- Chaussée bidirectionnelle à 2 voies (possibilité de 2x2 ultérieure)
- Longueur : 1000 m - Largeur : 8,00 m
- Passage inférieur de type pont en béton précontraint – Ouverture 50,00 m
- Passage supérieur de type bipoutres mixte acier béton – Ouverture 20,00 m

Périmètre fonctionnel

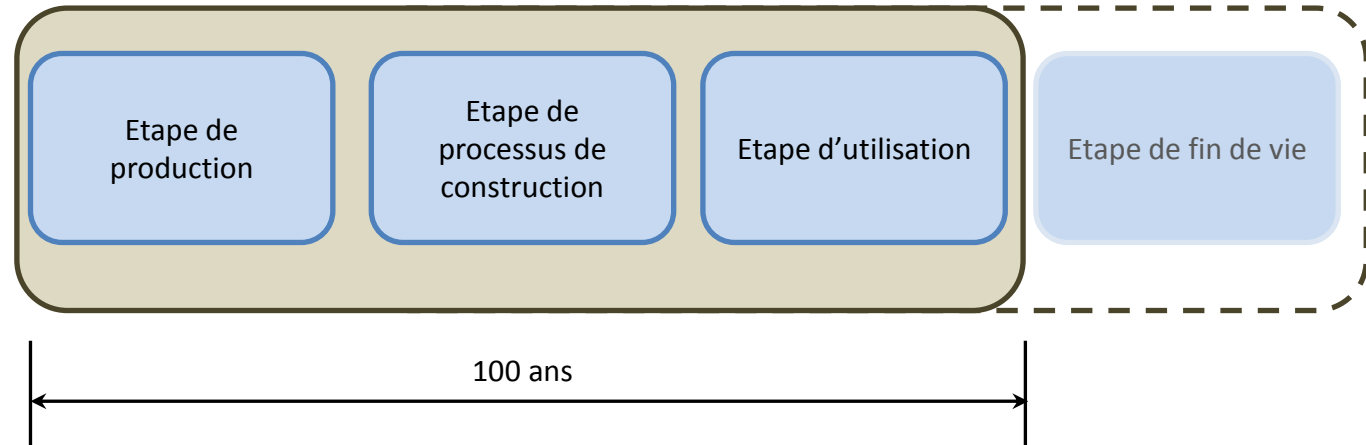
- Ensemble des processus de fabrication des matériaux, transports, mise en œuvre et vie en œuvre (hors fin de vie)

Périmètre temporel

- Période d'observation de 100 ans
- Étapes de production, mise en œuvre et vie en œuvre considérées



Frontières du système infra



Durée de référence

Etapas non évaluées

Processus exclus

- Fin de vie de l'infrastructure (la durée de vie de référence est une durée d'observation fixée selon la durée de vie la plus importante de ces éléments constitutifs)
- Module D : bénéfices et charges au-delà des frontières du système
- Terrassements routiers
- Équipements des chaussées, signalisation permanente et temporaire
- Transport des engins de l'agence vers le chantier
- Opération de décapage de structure métallique lors de la remise en peinture
- Impacts liés à l'intégration de solutions innovantes dans les variantes étudiées

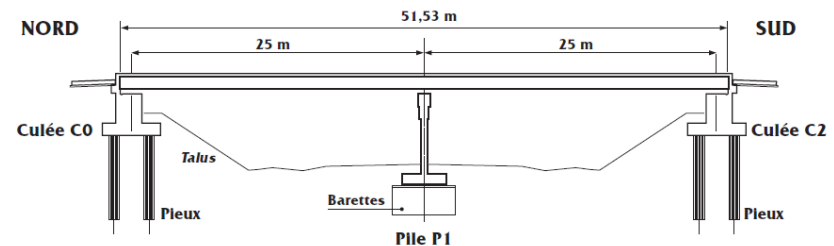
Hypothèses de conception

Chaussées

- Structure EME : 6 cm BBSG – 17 cm EME – PF2
- Dimensionnement initial 20 ans, trafic de 600 PL/jour
- Séquence d'entretien : prend en compte l'endommagement des couches de chaussées (module, fatigue).
- Fin de calcul à la ruine de la chaussée (reconstruction ou réhabilitation lourde)
- **Etude en cours DGITM - PCI EPPT (Dter Sud Ouest, Dter Ouest, Dter Est)**

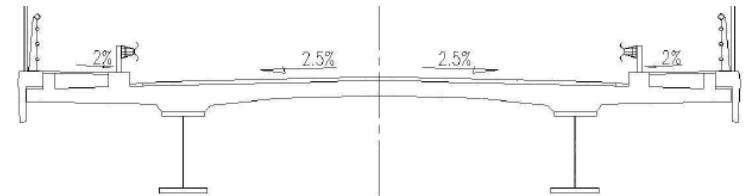
Ouvrage d'art PI

- Passage inférieur : dalle nervurée en béton précontraint
- 2 travées de 25 m de portée
- **Etude Cimbéton T87 (2010)**



Ouvrage d'art PS

- Passage supérieur : bipoutres mixte acier béton
- Travée unique de 20 m de portée
- **Etude du projet SBRI (2012)**



> Paramètres trafic

Trafic bidirectionnel

- Trafic PL : 600 PL/jour
- Trafic VL : 6000 VL/jour

Exploitation pendant travaux entretien

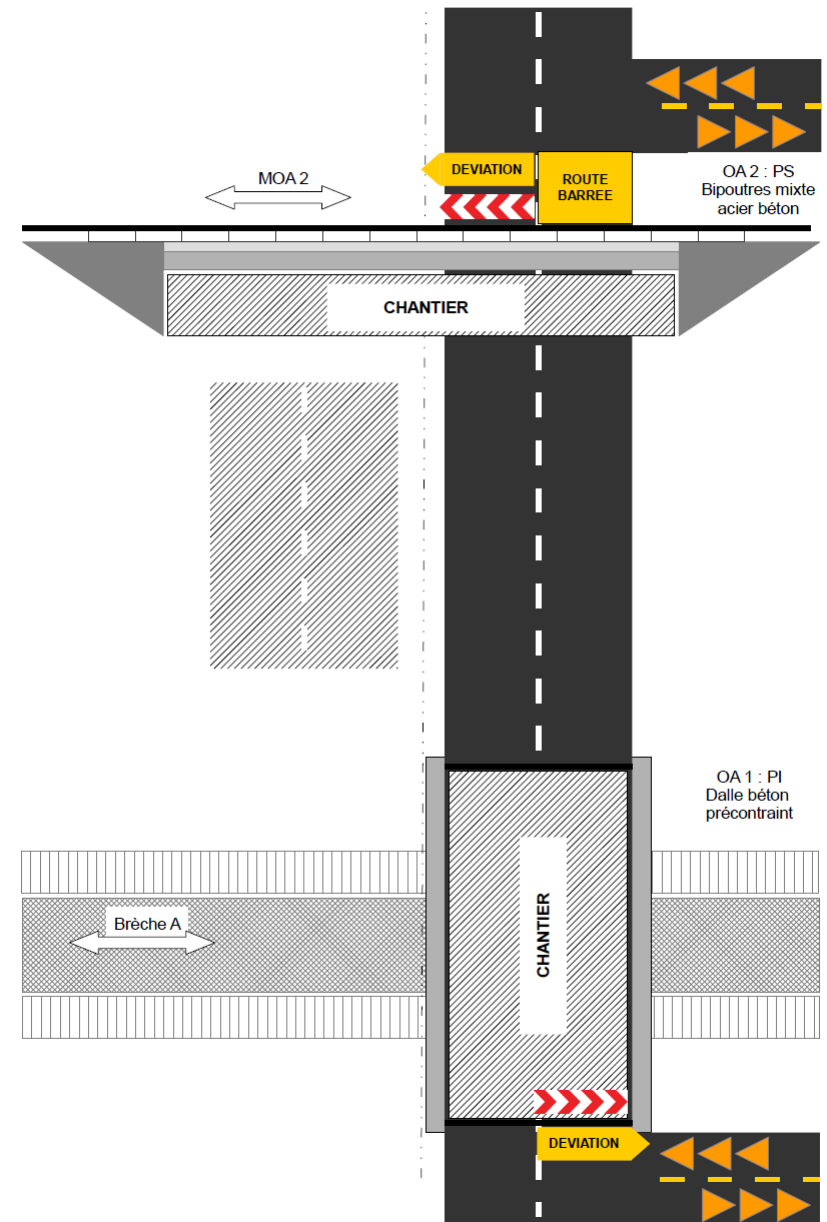
- Scenarios travaux de jour
- Scenarios travaux de nuit
- Déviation de 3 km
- Déviation de 10 km

Modélisation

Les travaux sous alternat sont modélisés par une déviation

Processus Ecoinvent :

- VL : *transport, passanger car, RER*
- PL : *transport, freight, lorry, unspecified*



➤ Outils, base de données, indicateurs

Outil
BDD

Outil : open LCA

- Logiciel Open source
- Développé par Green delta
- Réalisation de Life Cycle Assessment (LCA)



Base de données

- EcoInvent version 3.1



Indicateurs

Indicateurs environnementaux

- Potentiel d'acidification atmosphérique (kg SO₂-Eq)
- Changement climatique - GWP 100a (kg CO₂-Eq)
- Epuisement des ressources abiotiques (kg SB-Eq)
- Potentiel d'eutrophisation (kg NO_x-Eq)
- Eco-toxicités : terrestre, eau douce, marine, sédiments (kg 1,4-DCB-Eq)
- Toxicité humaine (kg 1,4-DCB-Eq)
- Energies renouvelable et non renouvelable (MJ)
- Oxidation photochimique (summer smog) (kg ethylene-Eq)
- Déchets radioactifs (kg)
- Destruction de la couche d'ozone stratospherique (kg CFC-11-Eq)
- Déchets (kg)

Méthodes

Méthodes de caractérisation

- CML (université de Leiden, Pays Bas)
- EDIP - Environmental Development of Industrial Products (Danemark)
- CEP – Cumulative energy demand (Suisse)

3 Scenarios



Scénarios

Scénario de référence 1

Chaussées	entretien normal
Ouvrages d'art	entretien normal

N°	Nature travaux	Echéance	Phasage	Durée intervention
1	Renouvellement BBSG	13 ans	Alternat	1 nuit
2	Joints de chaussées PI	20 ans	Alternat	3 nuits
3	Rechargement BBSG	26 ans	Alternat	1 nuit
4	Joints de chaussées PI + Etanchéité	35 ans	Déviation	2 mois
	Protection anticorrosion PS			
	Renouvellement BBSG			
5	Joints de chaussées PI	50 ans	Alternat	4 nuits
	Renouvellement BBSG			
6	Renouvellement BBSG	65 ans	Déviation	2 mois
	Joints de chaussées PI + Etanchéité			
	Protection anticorrosion PS			
7	Renouvellement BBSG	80 ans	Alternat	4 nuits
	Joints de chaussées PI			
8	Renouvellement BBSG	90 ans	Alternat	4 nuits
	Joints de chaussées PI			
	Fin de vie PI et PS	100 ans	Déviation	HORS ETUDE

Scénarios



Scénario variante 2



Chaussées	entretien normal
Ouvrages d'art	entretien réduit

1. PI : joints de chaussée à longue durée de vie
2. PS : emploi d'aciers autopatinables pour la structure bipoutres mixte acier-béton

N°	Nature travaux	Echéance	Phasage	Durée intervention
1	Renouvellement BBSG	13 ans	Alternat	1 nuit
2	Rechargement BBSG	26 ans	Alternat	1 nuit
3	Joints de chaussées PI + Etanchéité	35 ans	Déviation	1 mois
	Renouvellement BBSG			
4	Renouvellement BBSG	50 ans	Alternat	1 nuit
5	Renouvellement BBSG	65 ans	Déviation	1 mois
	Joints de chaussées PI + Etanchéité			
6	Renouvellement BBSG	78 ans	Alternat	1 nuit
7	Renouvellement BBSG	88 ans	Alternat	1 nuit
	Fin de vie PI et PS	100 ans	Déviation	HORS ETUDE

Scénarios



Scénario variante 3



Chaussées	entretien réduit
Ouvrages d'art	entretien réduit

1. Scénario variante 2
2. Emploi de couche de roulement à longue durée de vie

N°	Nature travaux	Echéance	Phasage	Durée intervention
1	Rechargement BBSG	26 ans	Alternat	1 nuit
2	Joints de chaussées PI + Etanchéité	35 ans	Déviation	1 mois
3	Renouvellement BBSG	52 ans	Alternat	1 nuit
4	Joints de chaussées PI + Etanchéité	65 ans	Déviation	1 mois
5	Renouvellement BBSG	78 ans	Alternat	1 nuit
	Fin de vie PI et PS	100 ans	Déviation	HORS ETUDE

Scénarios

Scénario variante 4

Chaussées	entretien normal
Ouvrages d'art	entretien supprimé

1. Scénario variante 2
2. PI : réalisation de culées intégrales (suppression des joints de chaussée)
3. PI : utilisation d'armatures en aciers inox (suppression de l'étanchéité)

N°	Nature travaux	Echéance	Phasage	Durée intervention
1	Renouvellement BBSG	13 ans	Alternat	1 nuit
2	Rechargement BBSG	26 ans	Alternat	1 nuit
3	Renouvellement BBSG	39 ans	Alternat	1 nuit
4	Renouvellement BBSG	52 ans	Alternat	1 nuit
5	Renouvellement BBSG	65 ans	Alternat	1 nuit
6	Renouvellement BBSG	78 ans	Alternat	1 nuit
7	Renouvellement BBSG	88 ans	Alternat	1 nuit
	Fin de vie PI et PS	100 ans	Déviation	HORS ETUDE

Scénarios

Scénario variante 5

Chaussées	entretien réduit
Ouvrages d'art	entretien supprimé

1. Scénario variante 3
2. PI : réalisation de culées intégrales (suppression des joints de chaussée)
3. PI : utilisation d'armatures en aciers inox (suppression de l'étanchéité)

N°	Nature travaux	Echéance	Phasage	Durée intervention
1	Rechargement BBSG	26 ans	Alternat	1 nuit
2	Renouvellement BBSG	52 ans	Alternat	1 nuit
3	Renouvellement BBSG	78 ans	Alternat	1 nuit
	Fin de vie PI et PS	100 ans	Déviation	HORS ETUDE

4 Résultats

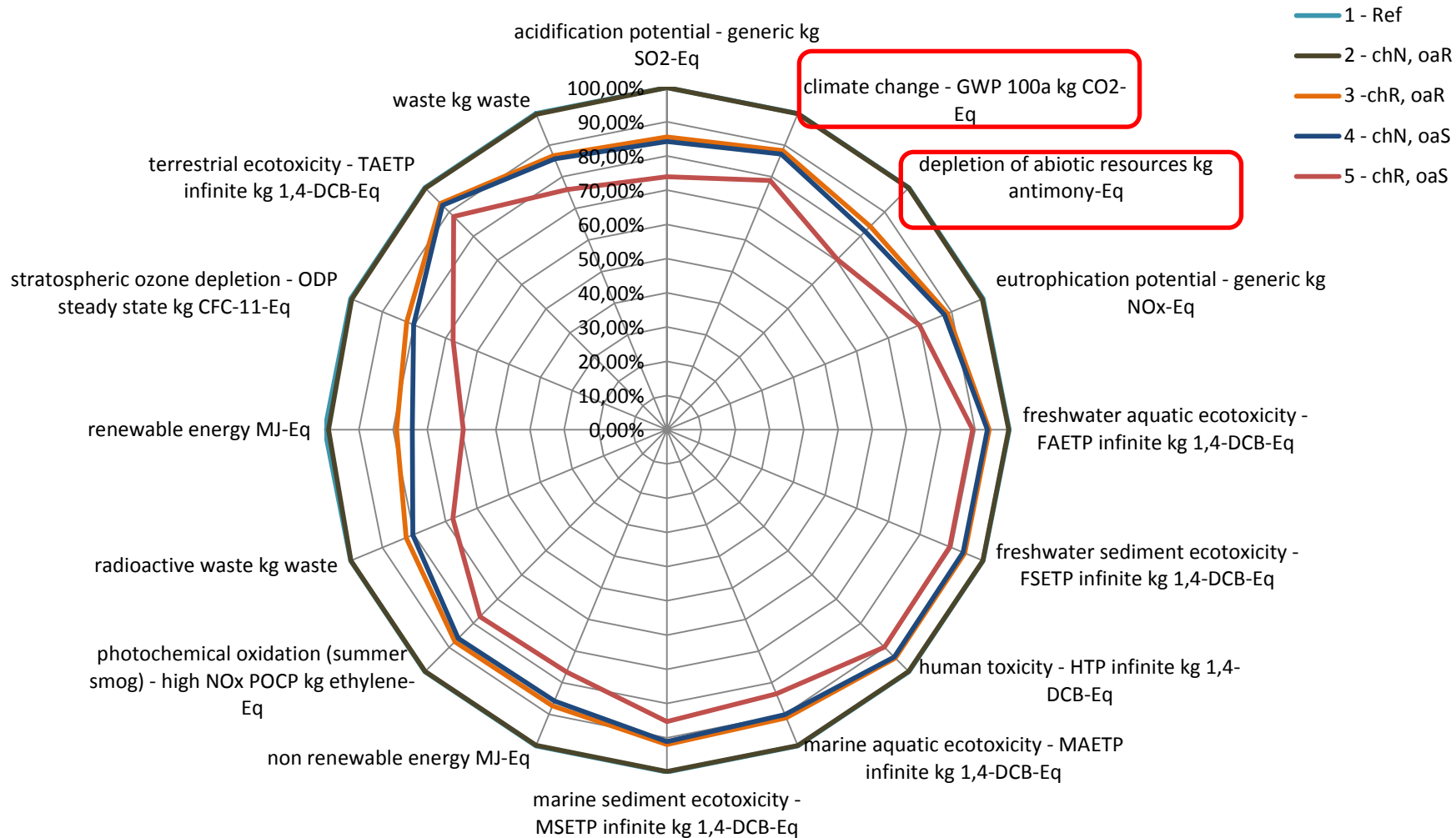


Scénarios

Rappel des abréviations utilisées pour désigner les scénarios dans les graphiques

Abréviation	Scénario
1 - Ref	Scénario 1 – Référence
2 – chN, oaR	Scénario 2 - Entretien chaussée NORMAL et entretien ouvrages d'art REDUIT
3 – chR, oaR	Scénario 3 - Entretien chaussée REDUIT et entretien ouvrages d'art REDUIT
4 – chN, oaS	Scénario 4 - Entretien chaussée NORMAL et entretien ouvrages d'art SUPPRIME
5 – chR, oaS	Scénario 5 - Entretien chaussée REDUIT et entretien ouvrages d'art SUPPRIME
SC 1 J10	Scénario 1 – Travaux de JOUR – Déviation de 10 km
SC 1 N3	Scénario 1 – Travaux de NUIT – Déviation de 3 km
SC2 J10	Scénario 2 – Travaux de JOUR – Déviation de 10 km
SC2 N3	Scénario 2 – Travaux de NUIT – Déviation de 3 km

Infrastructure



Infrastructure

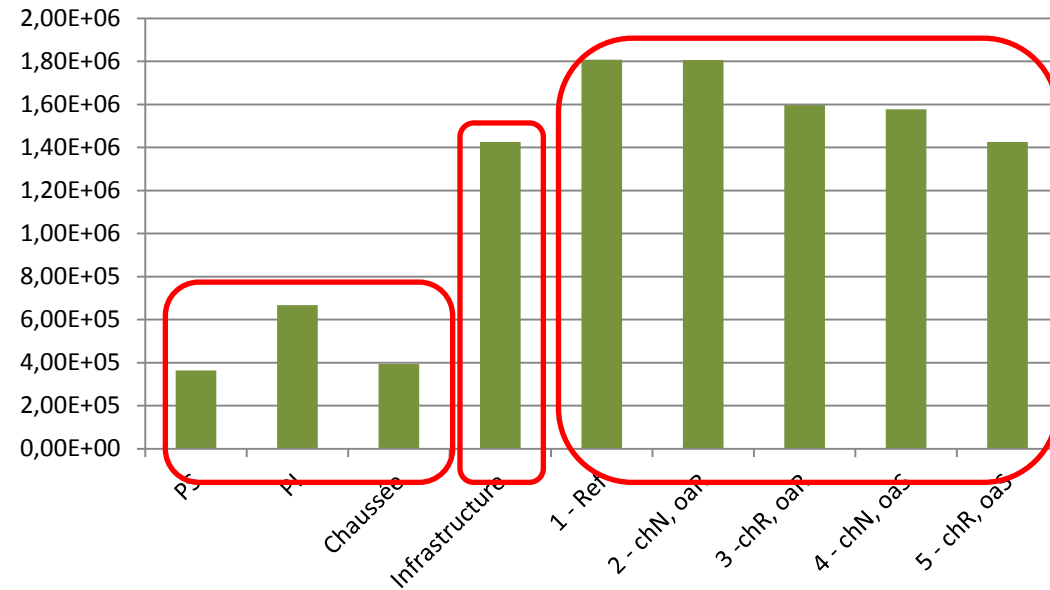
2 indicateurs d'impacts évalués

- ✓ Éléments constitutifs de l'infra
- ✓ Construction de l'infrastructure
- ✓ Construction avec entretien :
 - Référence
 - OA réduit
 - Chaussées et OA réduit
 - OA supprimé
 - Chaussée réduit et OA supprimé

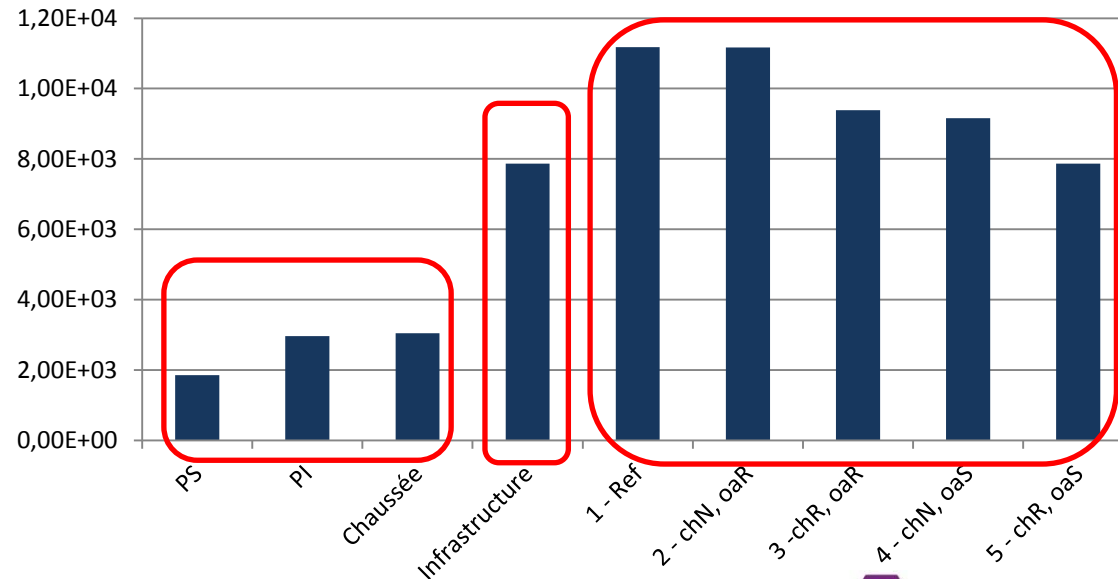
Gain potentiel entre scénarios 1 et 5 :

- 20 % en émissions de GES
- 30% en épuisement des ressources

Changement climatique (GWP 100a kg CO₂-Eq)



Épuisement de ressources abiotiques (kg Sb-Eq)



Trafic

Emissions GES trafic variations = f(scenarios)

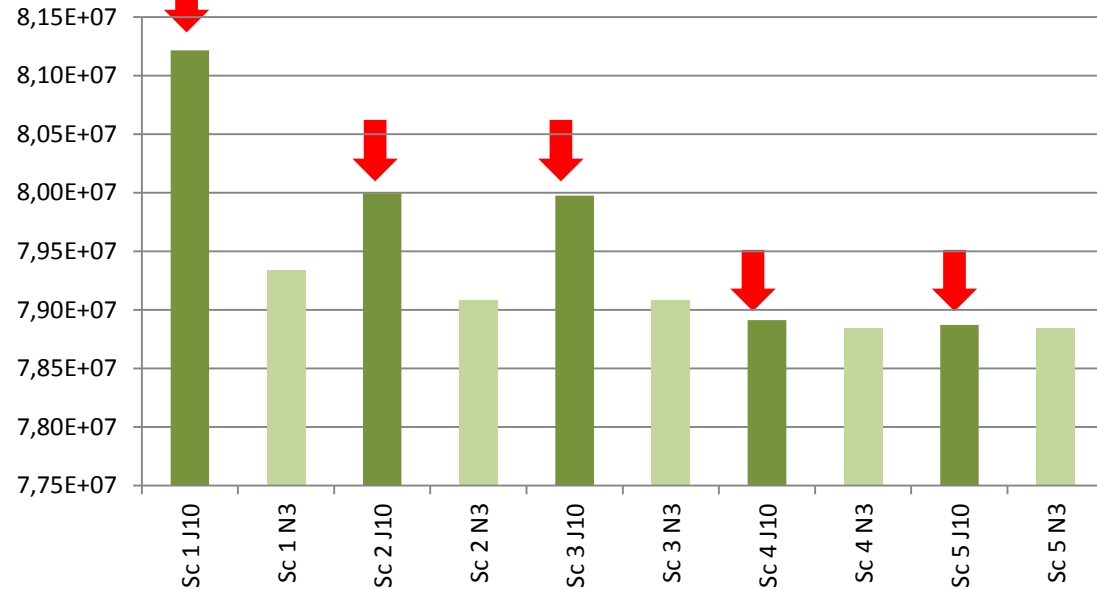
- Contenues à environ 3 % pour les travaux de jour
- Inférieures à 1 % pour les travaux de nuit

Gain de 3% des émissions GES trafic représente $2,34 \cdot 10^6$ kg CO₂-eq, soit 1,6 fois les émissions de GES de la construction de l'infrastructure ($1,43 \cdot 10^6$ kg CO₂-eq)

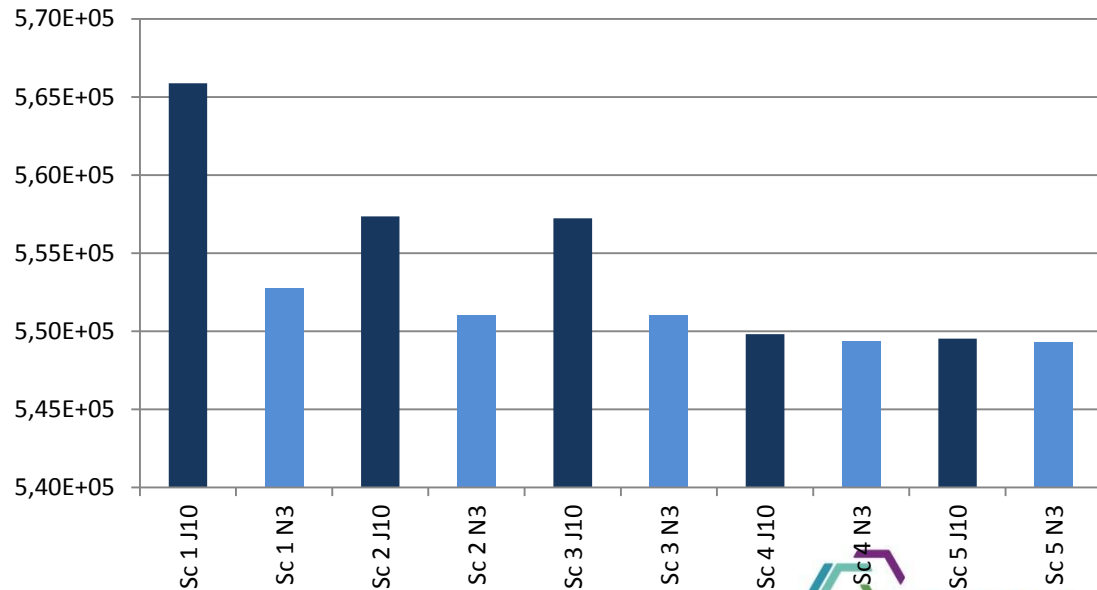
Epuisement des ressources

Constat similaire

Changement climatique(kg CO₂-Eq)



Epuisement des ressources (kg Sb-Eq)



Trafic et déviation

Graphique

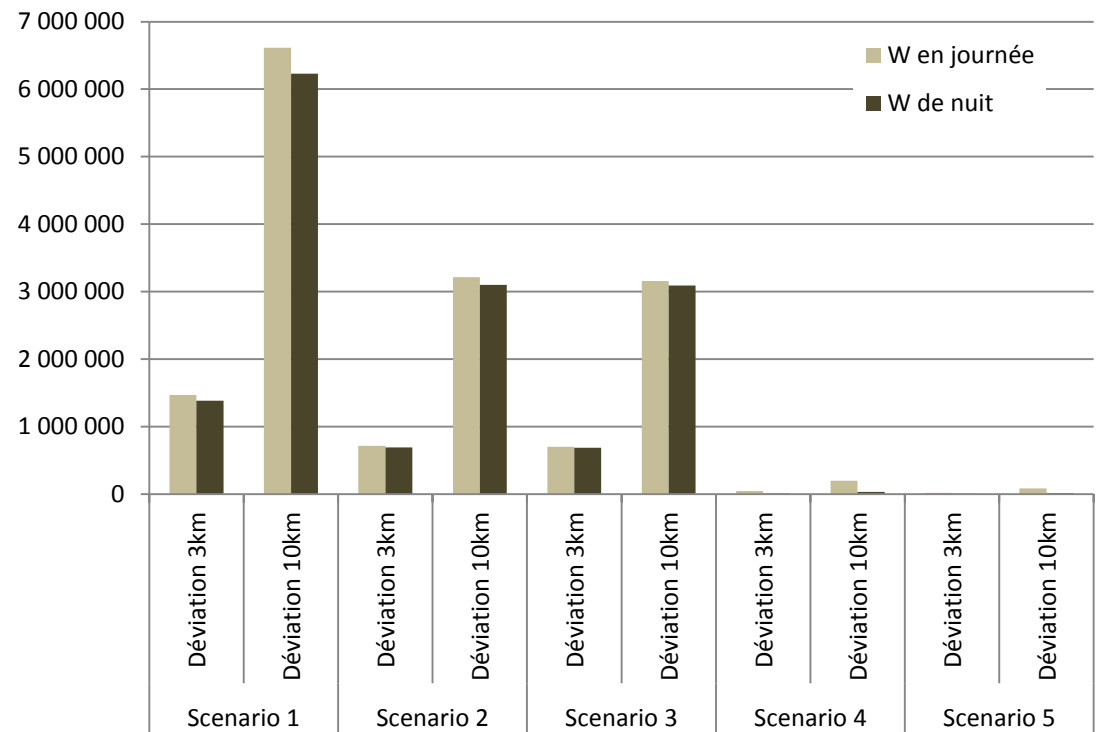
- Nombre de véhicules empruntant les itinéraires de déviation pendant les différentes phases d'entretien
- Exprimé en « vkm »
- Cumul PL et VL

Influence des scénarios d'entretien

- Forte décroissance dès la mise en œuvre d'entretien réduit
- Quasi disparition pour les scénarios 4 et 5

Conclusion

- Nécessité pour ce type d'étude d'élargir le périmètre d'évaluation aux zones d'influences concernées
- Déterminer les impacts associés sur les itinéraires de déviation



> Infra et trafic

Rapport entre les résultats

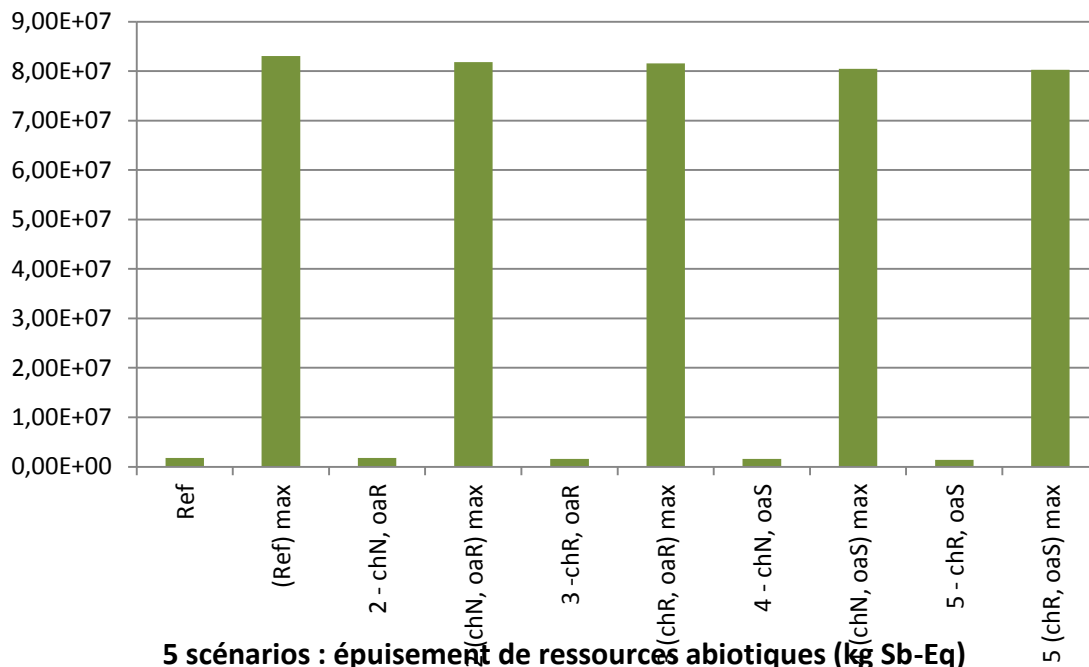
Emissions de GES

- $[\text{Infra} + \text{Trafic}] / [\text{Infrastructure}]$
- poids très important du trafic
- rapport de 45 pour le scenario Ref à 55 pour le scenario 5

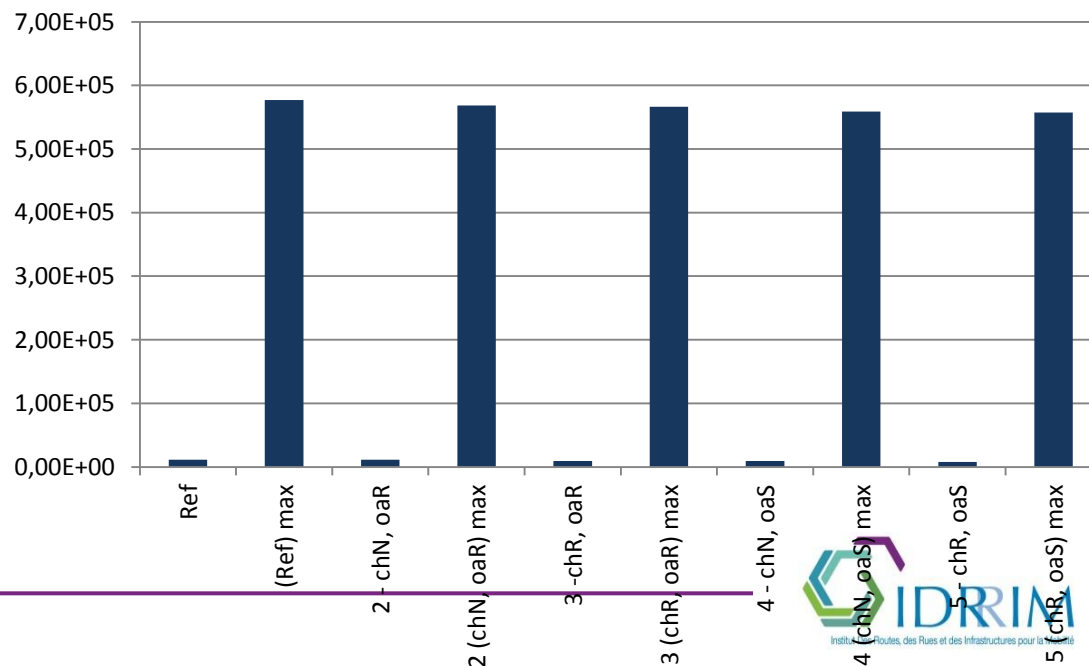
Epuisement des ressources

- $[\text{Infra} + \text{Trafic}] / [\text{Infrastructure}]$
- poids très important du trafic
- rapport de 50 pour le scenario Ref à 70 pour le scenario 5

5 scénarios : changement climatique (GWP 100a kg CO₂-Eq)



5 scénarios : épuisement de ressources abiotiques (kg Sb-Eq)



Infra et trafic

Gains entre scénarios

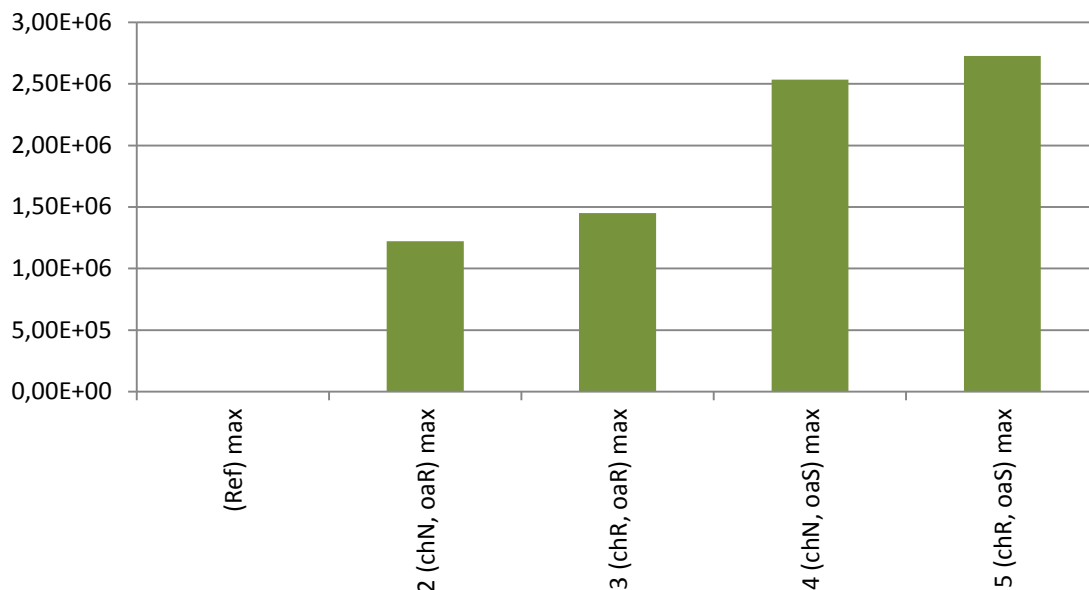
Emissions de GES

- Modérés de 1,47% à 3,28%
- Soit de $1,22 \cdot 10^6$ à $2,73 \cdot 10^6$ kgCO₂-eq
- *Rappel : construction de l'infrastructure $1,43 \cdot 10^6$ kg CO₂-eq*

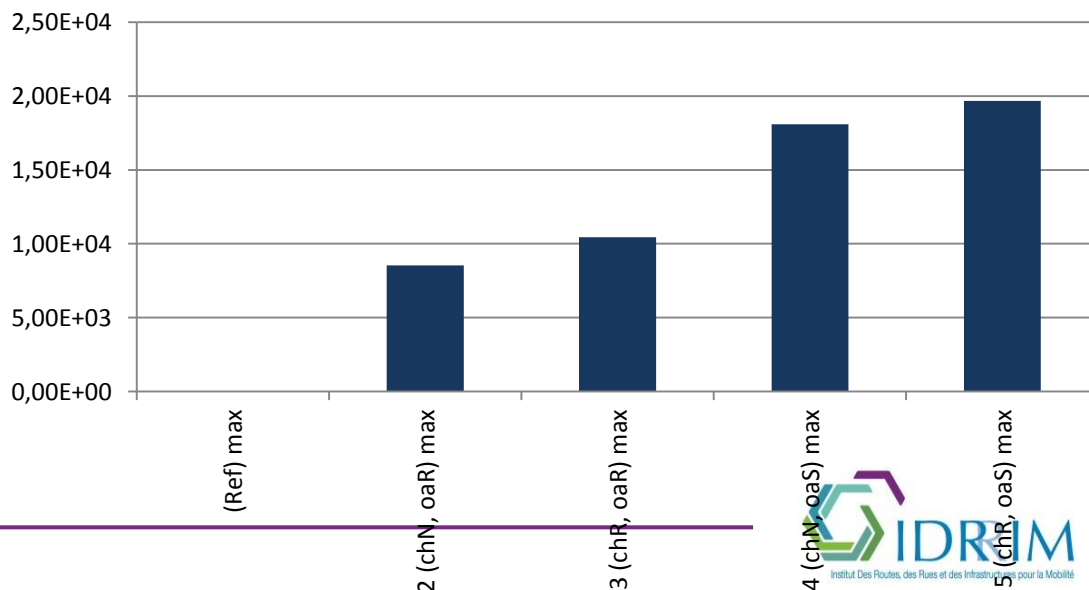
Epuisement des ressources

- Modérés de 1,48% à 3,41%
- Soit de $8,53 \cdot 10^3$ à $1,97 \cdot 10^4$ kgSb-eq
- *Rappel : construction de l'infrastructure $7,87 \cdot 10^3$ kg Sb-eq*

Gains entre scénarios : changement climatique (kg CO₂-Eq)



Gains entre scénarios : epuisement des ressources (kg Sb-Eq)



6 Conclusions et perspectives



Conclusions

Infra

- **Conception, construction et entretien de l'infrastructure**
- il est envisageable d'éviter jusqu'à 20% d'émissions de GES et de diminuer de 30% l'épuisement des ressources en favorisant l'emploi de solutions d'éco-conception avec peu d'entretien (chaussées et ouvrages d'art).

Trafic

- **Poids du trafic très élevé dans les résultats**
- sur 100 ans, selon les scénarios, il représente environ 50 fois le poids de l'infrastructure pour les émissions de GES et 60 fois pour l'épuisement des ressources.
- Il reste le facteur déterminant à ce jour, nécessitant le déploiement de nouvelles technologies et pratiques

Infra
+
Trafic

- **Gains potentiels selon les scénarios**
- pour les résultats globaux « infra + trafic » ils sont contenus en pourcentage, de 1,5% à 3%.
- L'absence de projection en termes de consommation et d'émissions des véhicules sur 100 ans efface les gains potentiels proposés par l'éco-conception de l'infrastructure.
- Néanmoins, ces gains représentent jusqu'à 1,9 fois la construction de l'infrastructure en termes d'émissions de GES et jusqu'à 2,5 fois ces mêmes travaux en termes d'épuisement des ressources.

> Perspectives

Infra Trafic

- Modélisation d'une 2x2 voies
- Prise en compte d'un contexte autoroute de liaison, voie rapide urbaine
- Modélisation de différents type de structure
- Modélisation d'un trafic PL et VL élevé

Périmètre

- Prise en compte des opérations de démolition chaussées et ouvrages d'art
- Déterminer l'impact du trafic dévié sur les itinéraires concernés (désordres, nuisances)
- Compléter l'étude par une approche C2C (cradle-to-cradle) d'économie circulaire relative aux produits de démolition (impacts des traitements et impacts évités)

Evaluation

- prEN15643-5 – Cadre pour l'évaluation de la performance de la contribution des ouvrages de génie civil au développement durable
- Réaliser une évaluation économique de type LCC (coût global, décret 2016-360 du 25/03/16 relatif aux marchés publics)
- Réaliser une évaluation sociale de type SLCA

CONGRÈS DE L'IDRIM

Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité



Merci de votre attention