

Scénarios de décarbonation des transports en région Provence – Alpes – Côte d’Azur



Thibaut Limon
Mission Prospective
tlimon@maregionsud.fr



I. Introduction

II. Quelques éléments méthodologiques

III. Scénarios modélisés

IV. Principaux résultats

V. Quelques enseignements...

Constats....

Tempête Alex, 2020



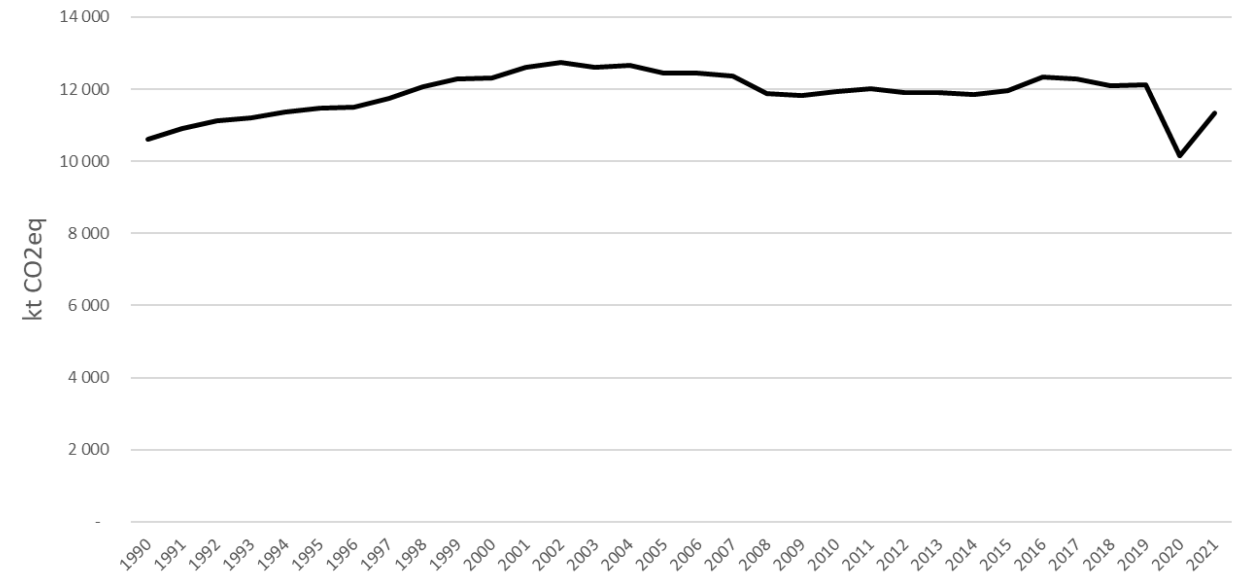
Inondations à Cannes, 2015



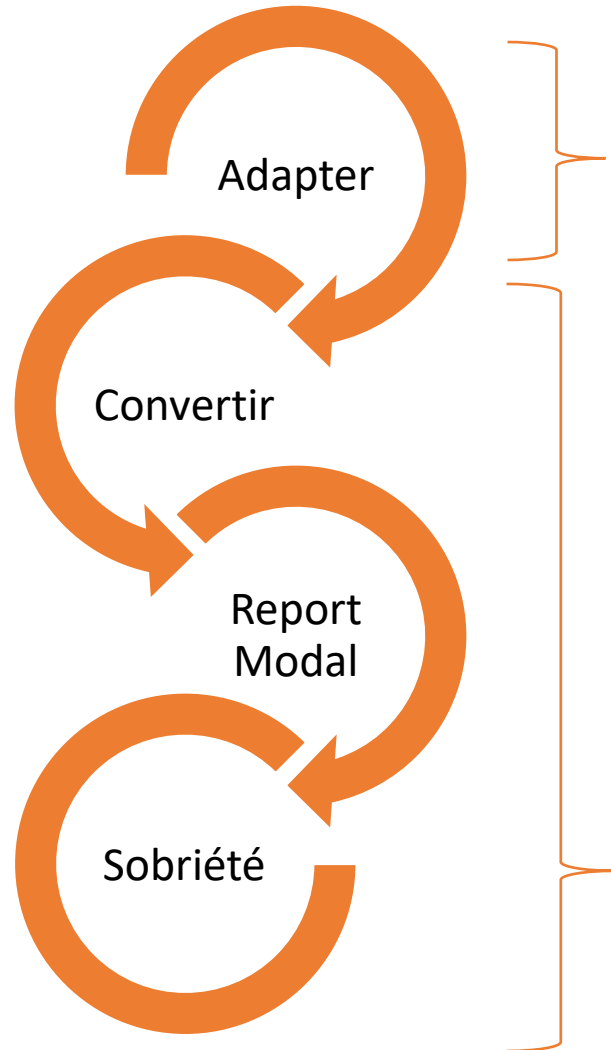
Feux de forêt dans le Var , 2021



Emissions GES des transports en région Provence - Alpes - Côte d'Azur (hors transport international) - Atmosud



Orientations stratégiques régionales pour la transition écologique des transports en région Sud: ACoRS

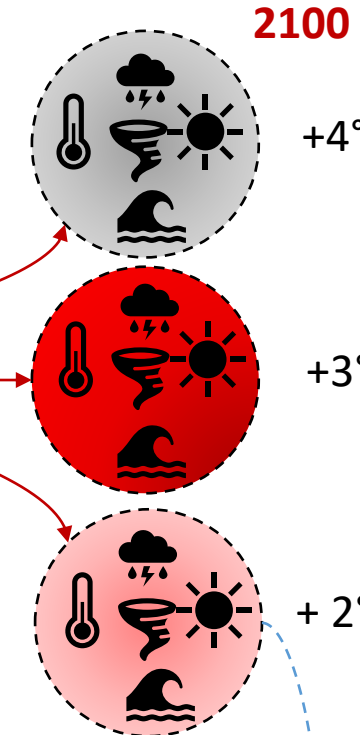
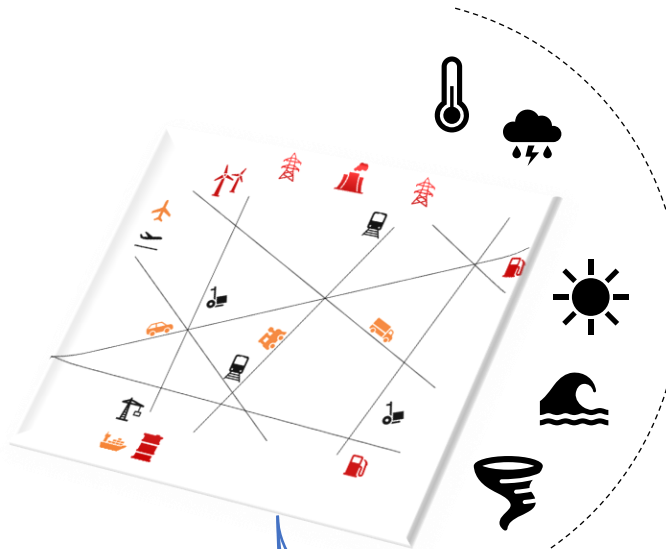


Adaptation : gérer l'inévitable

Atténuation : éviter l'ingérable

Déclinaison de ces orientations en actions concrètes?

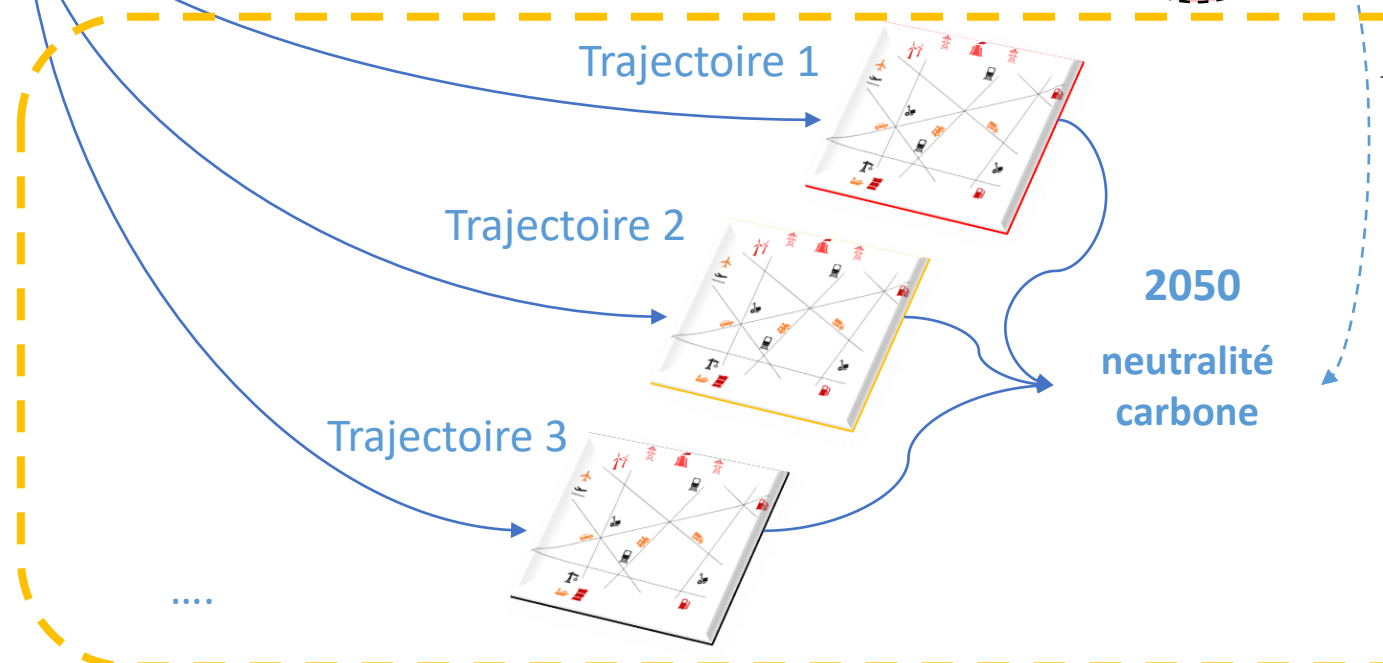
Démarche prospective Région Sud – Transports et mobilité



ADAPTATION

Quels risques physiques pèsent sur les infrastructures de transport d'intérêt national et régional, à moyen et long terme ?

Evaluation prospective des risques physiques
→ Etude en cours
Résultats à venir (fin 2024)



ATTENUATION

Quelles transformations (technologiques et comportementales) des mobilités pour atteindre la neutralité carbone en 2050 ?

Evaluation technico-économique de 3 scénarios prospectifs de décarbonation des transports
→ Etude terminée
Résultats obtenus (juin 2023)

Objectifs



Se doter d'un modèle technico-économique (nommé NOTOS):

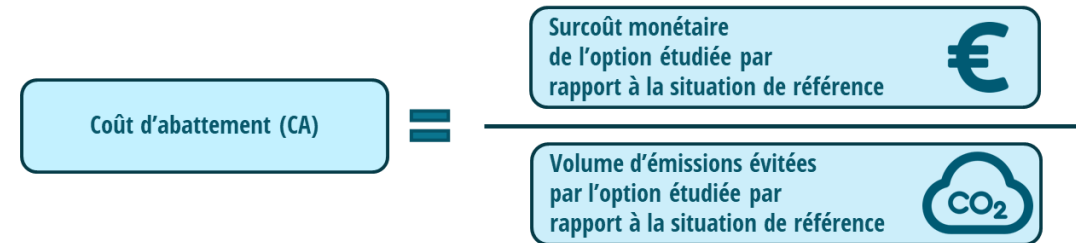
1. **Territorialisé** sur la région Sud et couvrant l'**ensemble des modes** de transport terrestres (voyageurs et marchandises)
2. Intégrant les **principaux leviers de décarbonation** des mobilités (comportementaux et technologiques)
3. Permettant d'**anticiper leurs effets** (horizon 2030 et 2050) :



4. Evaluant **l'efficacité carbone** des actions

Construire et évaluer **3 scénarios prospectifs**

Déboucher sur **une feuille de route collective**



→ Etude réalisée par **Citec & Enerdata**
+ un **comité scientifique** (Crozet, Criqui, Koning, Coldefy)





I. Introduction

II. Quelques éléments méthodologiques

III. Scénarios modélisés

IV. Principaux résultats

V. Quelques enseignements...

Périmètres



Périmètre des mobilités :

- Pris en compte:
 - Toutes les **mobilités terrestres** sur le territoire régional (route, fer, fleuve, mer à quai)
 - Déplacements de **personnes et de marchandises**
 - Déplacements **internes, d'origine-destination et de transit**
- Non pris en compte :
 - Mouvements maritimes non à quai
 - Aérien

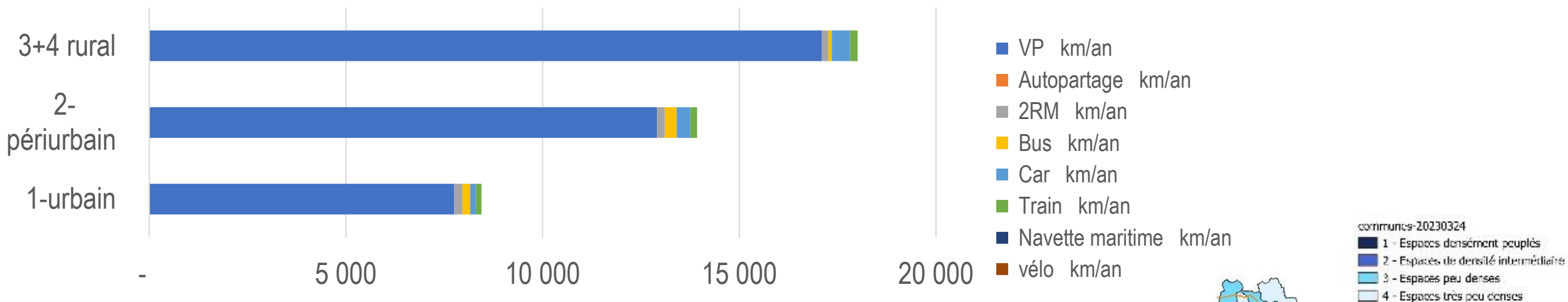
Périmètre des émissions GES :

- Pris en compte:
 - **Scope 2 des émissions liées aux énergies utilisées** par les transports en scope 2 (amont + usage): diesel, essence, gaz naturel, bioénergies, électricité, hydrogène
- Non pris en compte:
 - Fabrication et maintenance des véhicules, des infrastructures, des équipements...

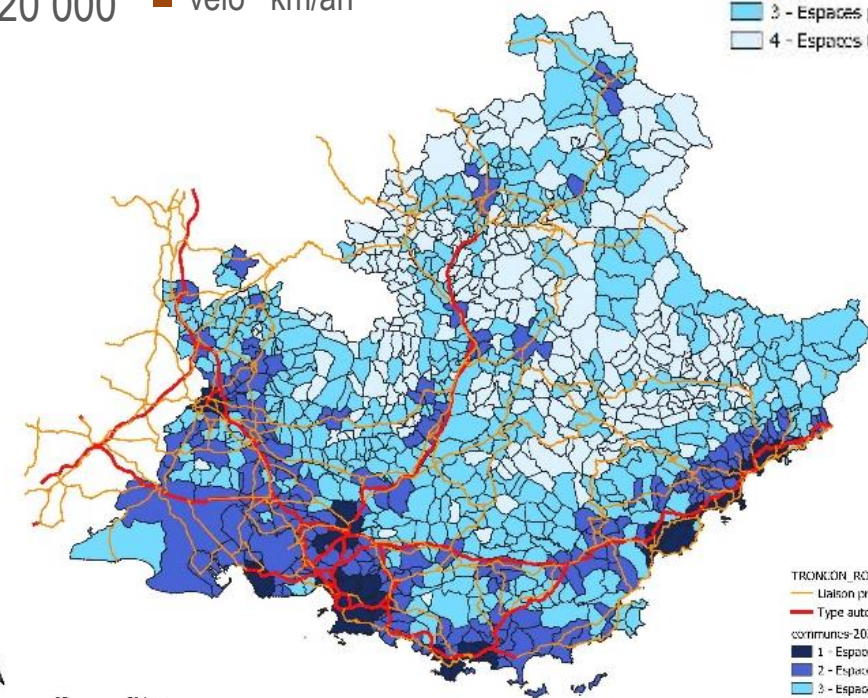
Principale source de données trafics : les données Atmosud



Distance annuelle parcourue par mode et type de territoire (km/an), en 2019



		1-urbain	2-périurbain	3+4 rural
VP	km/an	7 753	12 909	17 099
Autopartage	km/an	-	-	-
2RM	km/an	209	198	167
Bus	km/an	198	301	87
Car	km/an	146	344	463
Train	km/an	141	175	192
Navette maritime	km/an	-	-	-
vélo	km/an	-	-	-
Total	km/an	8 447	13 927	18 007



communes-20230324

- 1 - Espaces densément peuplés
- 2 - Espaces de densité intermédiaire
- 3 - Espaces peu denses
- 4 - Espaces très peu denses

TRONC.ON. ROUTE

- Liaison principale
- Type autoroutier

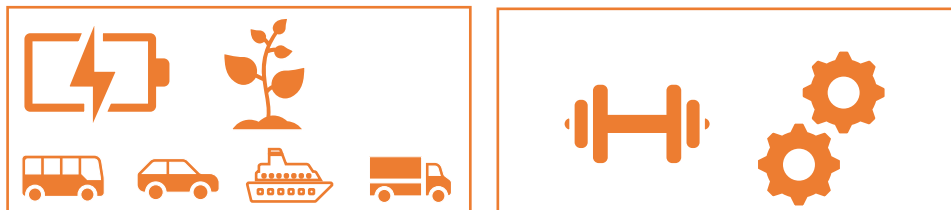
communes-20230324

- 1 - Espaces densément peuplés
- 2 - Espaces de densité intermédiaire
- 3 - Espaces peu denses
- 4 - Espaces très peu denses

Leviers de décarbonation dans le modèle



Conversion



Report modal



Sobriété

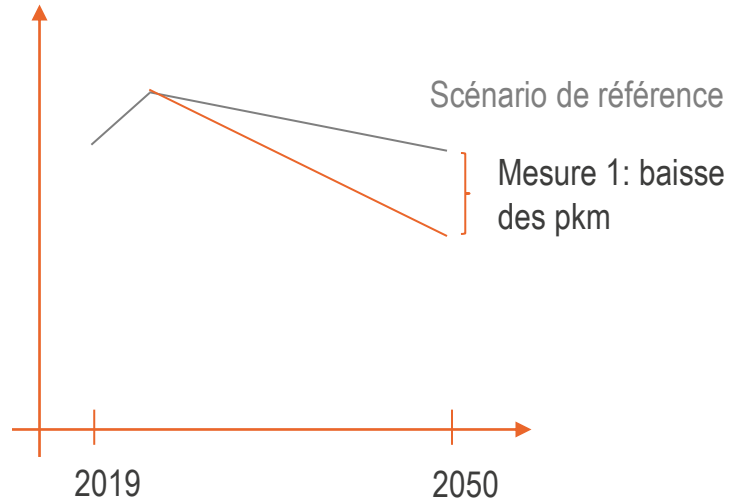


Une allocation des impacts combinatoire et relative

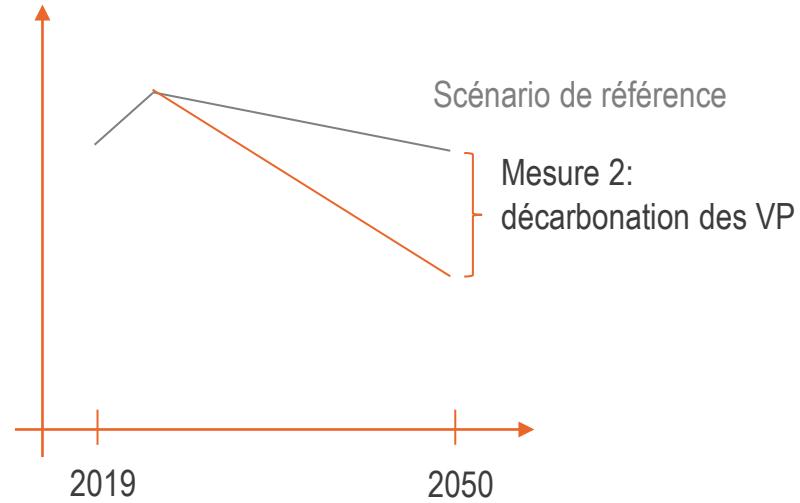


Trajectoire de réduction des émissions

Emissions de GES

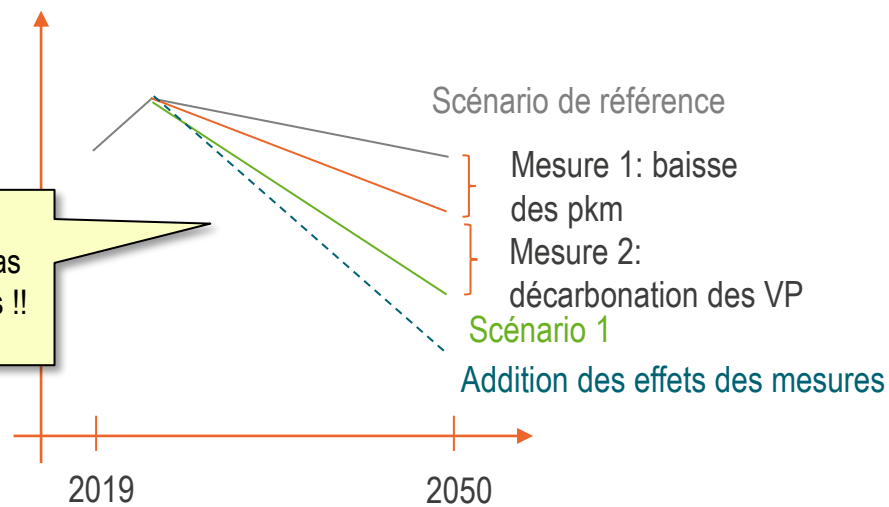


Emissions de GES



Effet isolé des mesures

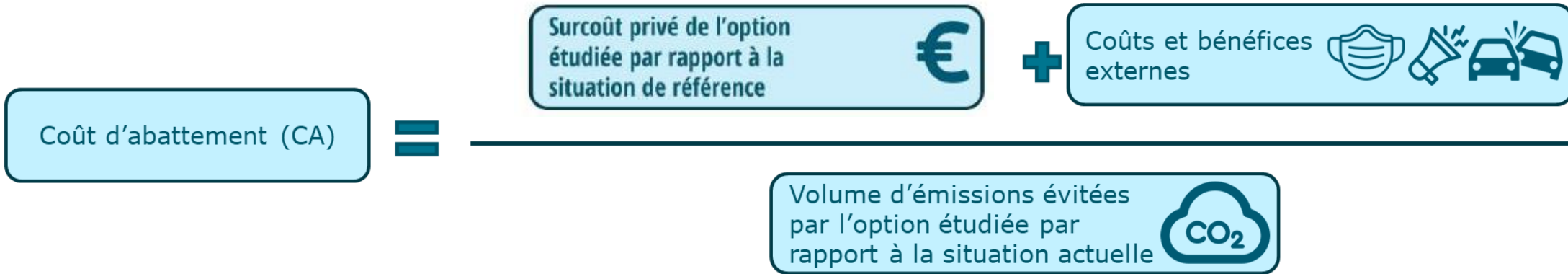
Emissions de GES



Effet combiné des mesures = scénario

Lorsque l'on combine plusieurs mesures, l'effet total ne correspond pas à une simple addition des effets isolés !!

Définition des coûts d'abattement



Composantes des coûts



- Prix des énergies et fiscalité (dont composante carbone)
- Coûts moyens d'acquisition par mode et par motorisation et bornes de recharge privées
- Coûts moyens d'usage par mode et par motorisation
- Coûts moyens d'infrastructure par mode
- Coûts d'investissement additionnels nécessaires, notamment ceux portés par la puissance publique (bornes de recharge publiques, hub logistique, etc.)
- Coûts de promotion des mesures (ex: télétravail)

Coûts marchands

CA marchands

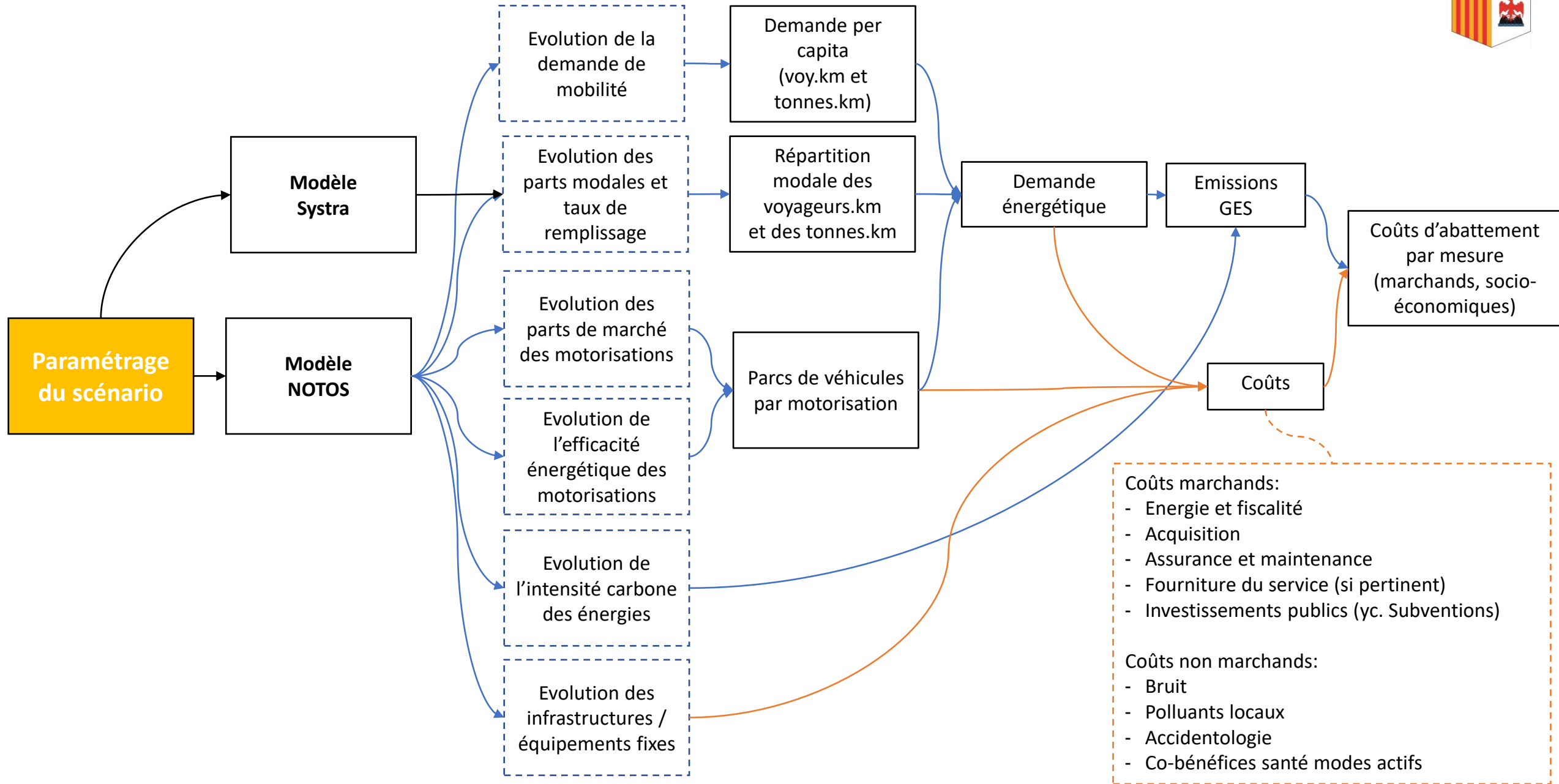
- Coûts des externalités par mode et par densité et/ou type de route (accidentologie, bruit, polluants locaux, co-bénéfices santé du vélo)

Coûts socio-économiques avec externalités

CA socioéconomiques

- Pas d'évaluation monétaire du temps (perdu, gagné)
- Hors périmètre: titres TC, péages urbains, stationnement, etc.

Aperçu général du fonctionnement du modèle NOTOS





I. Introduction

II. Quelques éléments méthodologiques

III. Scénarios modélisés

IV. Principaux résultats

V. Quelques enseignements...

3 scénarios prospectifs de décarbonation des mobilités en région Provence-Alpes-Côte d'Azur



S1 - Pari technologique	S2 - Massification du report modal	S3 - Défi de la sobriété
<p>Pas de remise en cause des modes de vie et de consommation, des processus de production, des comportements de mobilité.</p> <p>La demande de mobilité continue de croître.</p>	<p>Report modal massif sur les modes massifiés, actifs et partagés.</p> <p>Diminution de la demande de mobilité.</p>	<p>Recherche d'une diminution très importante des volumes de mobilité. Les leviers principaux sont l'aménagement des territoires, les technologies (véhicules <i>low-tech</i> / ultralégers), le report modal et les taux de remplissage.</p>

Conversion



Report modal



Sobriété



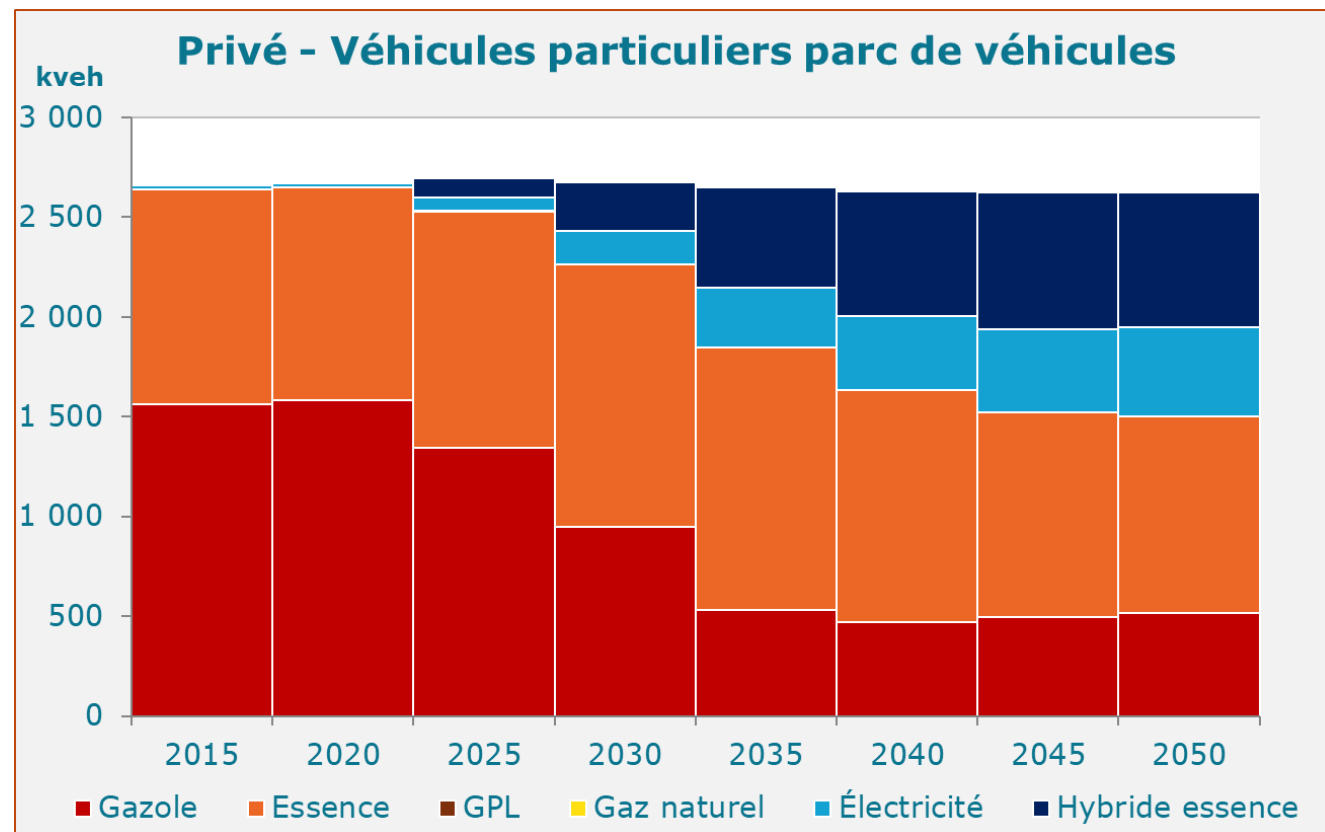
Correspondance Ademe

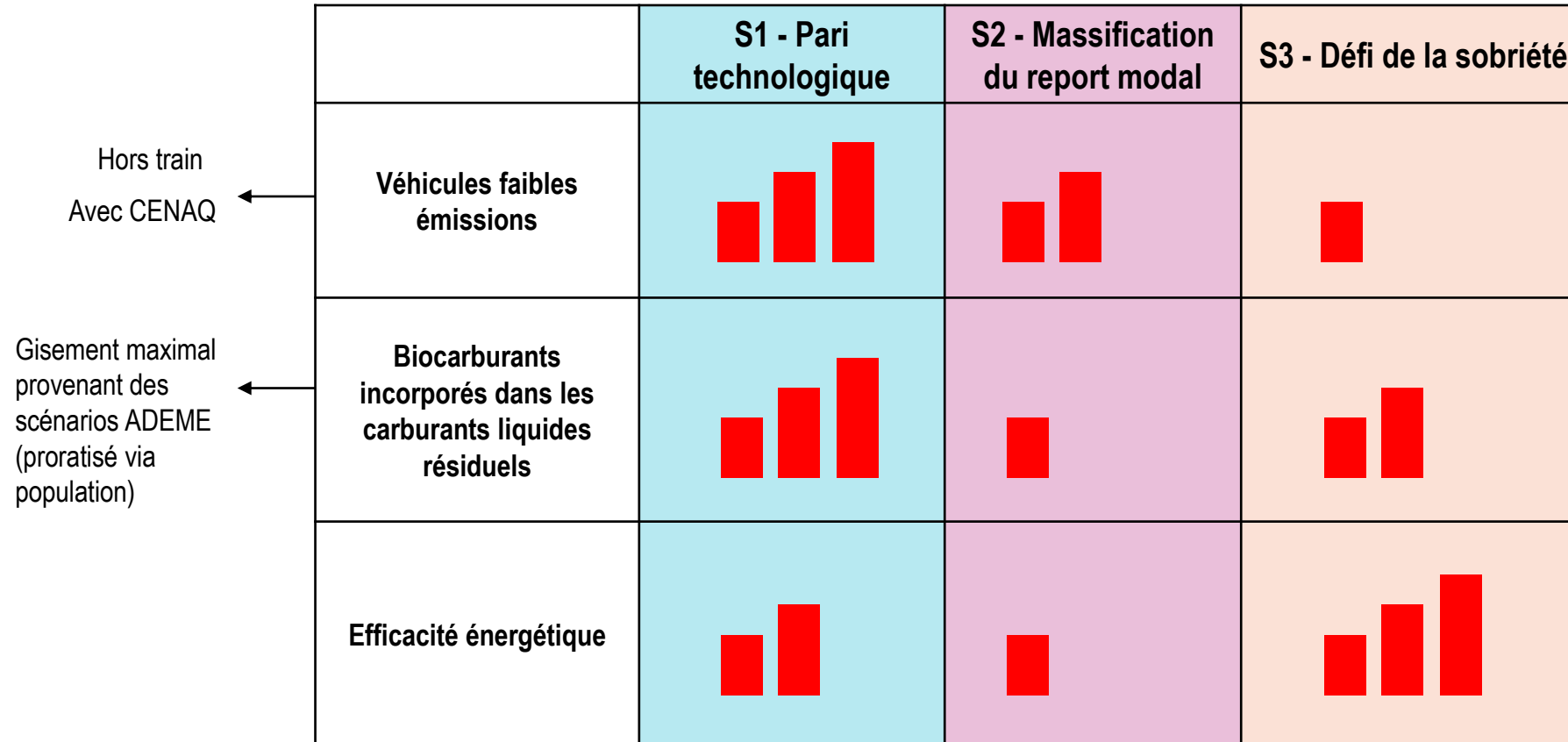


Scénario de référence (SNBC 2 Avec Mesures Existantes)



- **Augmentation des trafics** (2050 par rapport à 2019) :
 - + 10 % passagers
 - + 32% fret
- **VP, VUL et PL restent prédominant** (report modal quasi inexistant)
- **Très faible augmentation du covoiturage** et pas d'optimisation des taux de remplissage

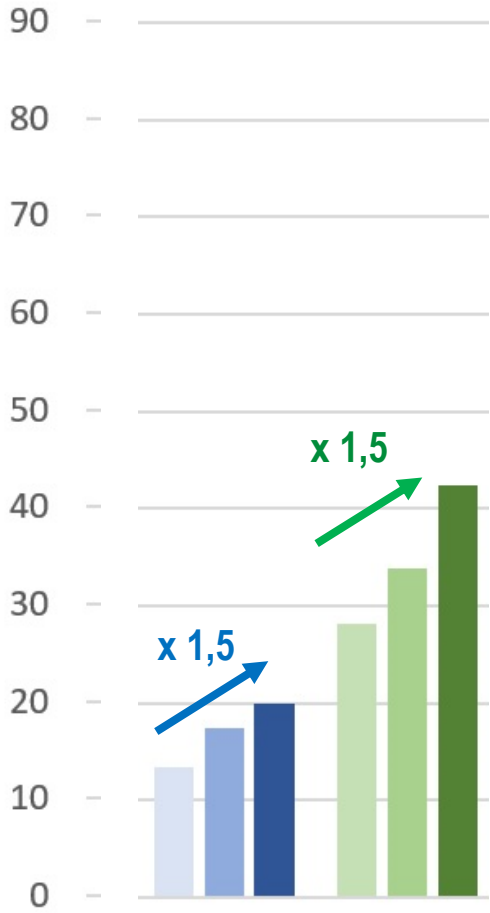




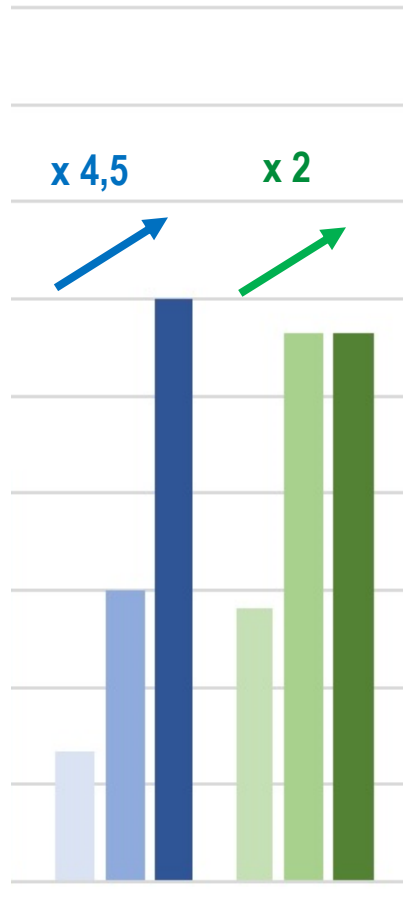


Mveh.km / an

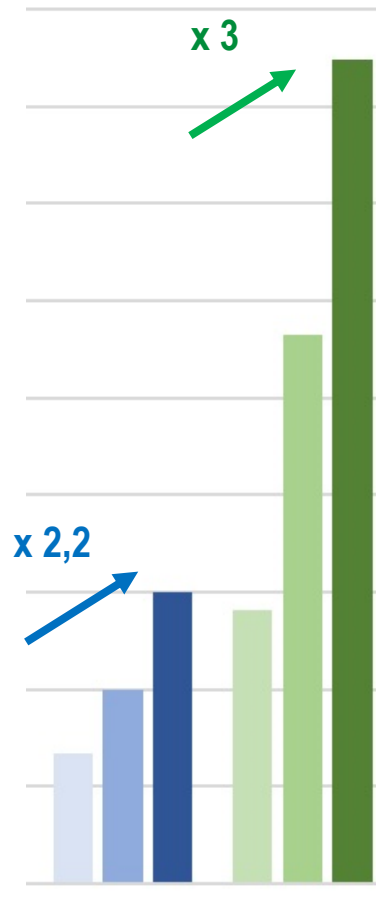
Evolution de l'offre TER et autocars



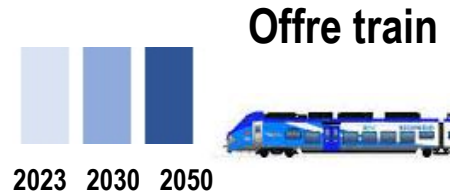
Scénario technologique



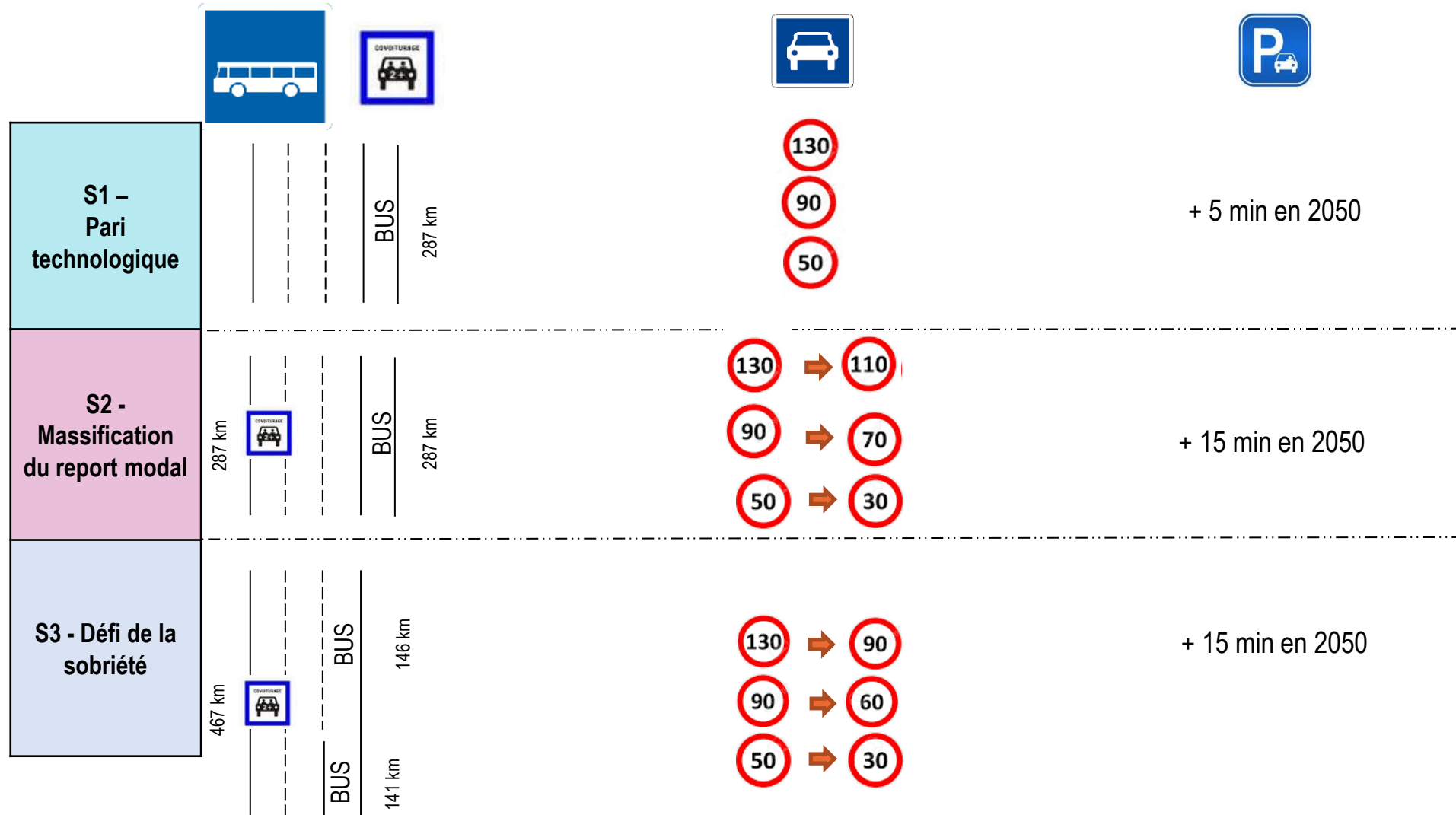
Scénario report modal



Scénario sobriété

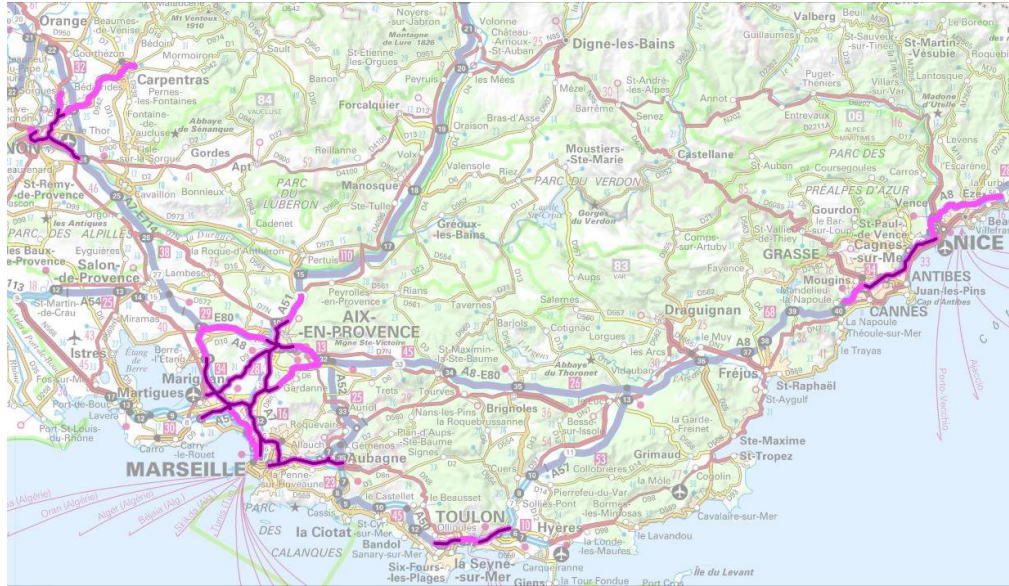


Les mesures relatives au report modal : Le temps transports collectifs et partagés vs. véhicule particulier





Scénario 1 : pari technologique



Scénario 2 : report modal



Scénario 3 : sobriété



VRTC sur BAU

VRTC sur voie de droite

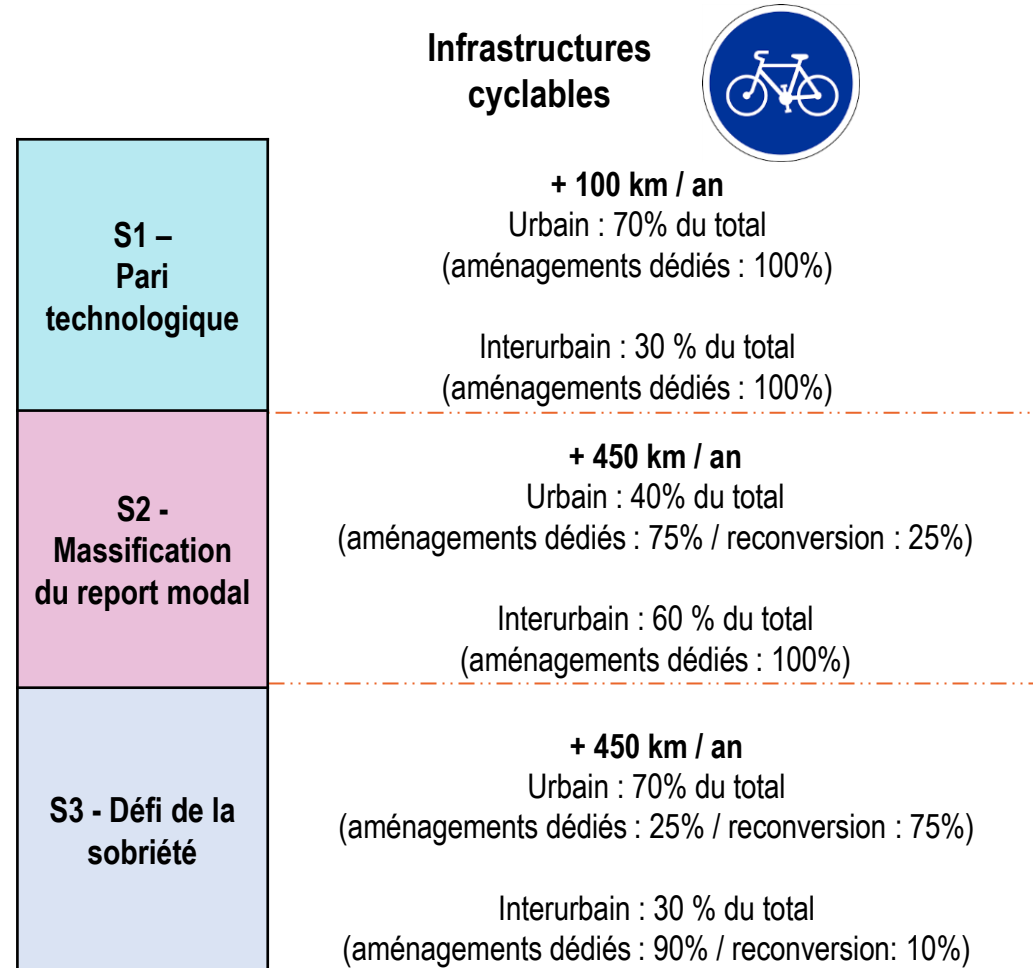
VR2+

Les mesures relatives au report modal : Le coût transports collectifs vs. véhicule particulier



	Tarifcation TC	Péage km	Péage urbain
S1 – Pari technologique	Tarif stable	+ 10% en 2030 + 20% en 2050	0 € en 2030 0 € en 2050
S2 - Massification du report modal	- 25% en 2030 - 50% en 2050	+ 20% en 2030 + 40% en 2050	3 € en 2030 5 € en 2050
S3 - Défi de la sobriété	- 10% en 2030 - 25% en 2050	+ 10% en 2030 + 20% en 2050	2 € en 2030 2 € en 2050

Les mesures relatives au report modal : Le report vers le vélo





	S1 - Pari technologique	S2 - Massification du report modal	S3 - Défi de la sobriété
Amenagement du territoire	Périurbain -> urbain : -25% Rural -> périurbain : 3% Rural -> urbain : 2%	Périurbain -> urbain : 10% Rural -> périurbain : 3% Rural -> urbain : 5%	Périurbain -> urbain : 30% Rural -> périurbain : 0% Rural -> urbain : 10%
Dématérialisation	20% ; 2j	20% ; 2j	50% ; 3j



% d'employés tertiaire en télétravail ; nb de jours de télétravail / semaine



	S1 - Pari technologique	S2 - Massification du report modal	S3 - Défi de la sobriété
Demande marchandises	+30%	-35%	-45%
Optimisation remplissage PL			
Report PL -> fleuve et rail	Idem tonnes.km	X2 des tonnes.km	Idem tonnes.km
Report VUL -> cyclo logistique			



I. Introduction

II. Quelques éléments méthodologiques

III. Scénarios modélisés

IV. Principaux résultats

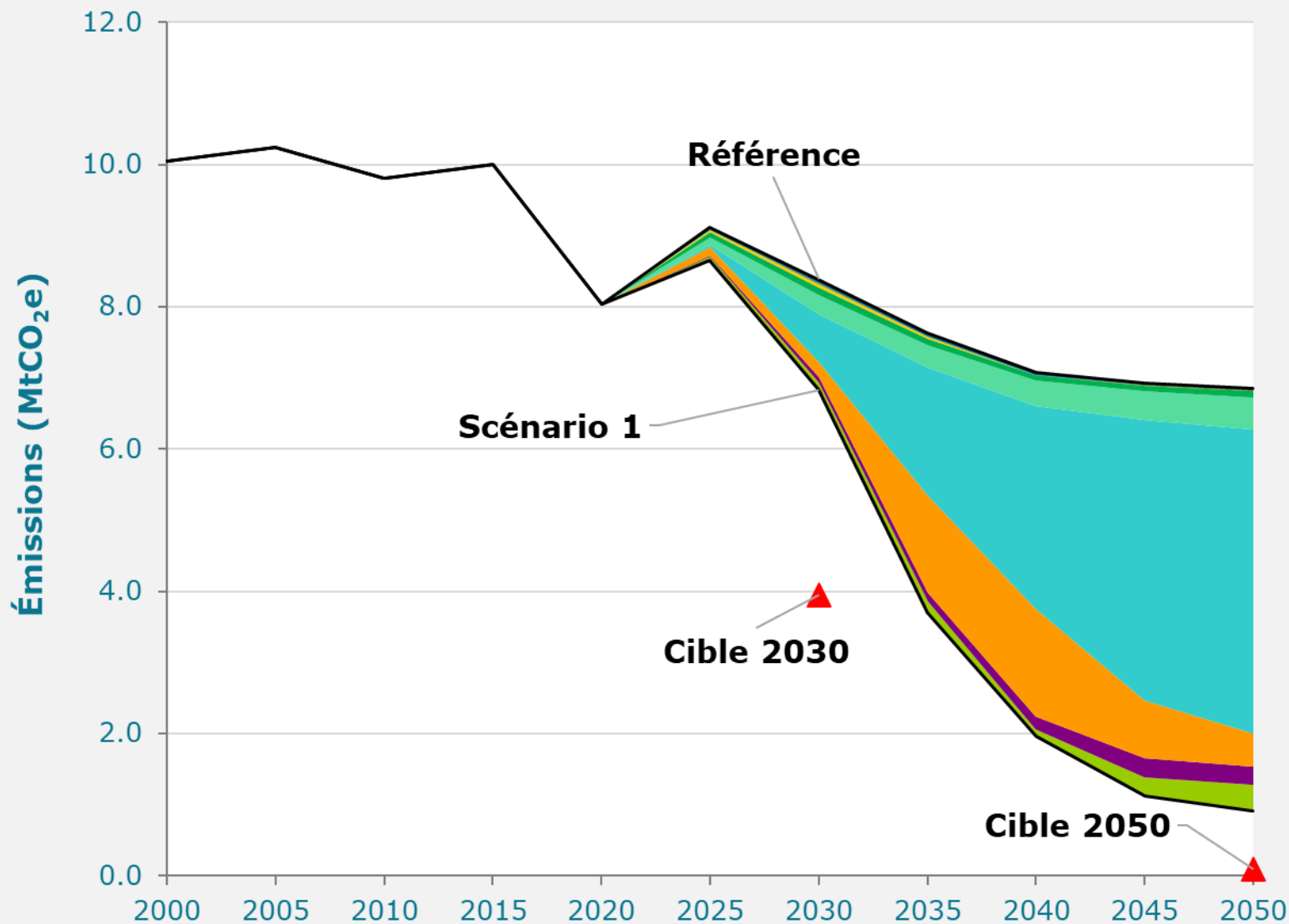
- ✓ émissions de GES
- ✓ parts modales (pkm et tkm)
- ✓ Coûts d'abattement

V. Quelques enseignements...

Scénario 1 « Pari technologique »



Réduction des émissions de GES par mesure



- Dématérialisation
- Report modal vélocargo
- TC régional
- Report modal vélo
- Optimisation PL
- Véhicules faibles émissions
- Biocarburants
- Electrification à quai
- Efficacité
- Production PV

SOBRIETE

REPORT MODAL

CONVERSION ENERGETIQUE

Enseignements clés:

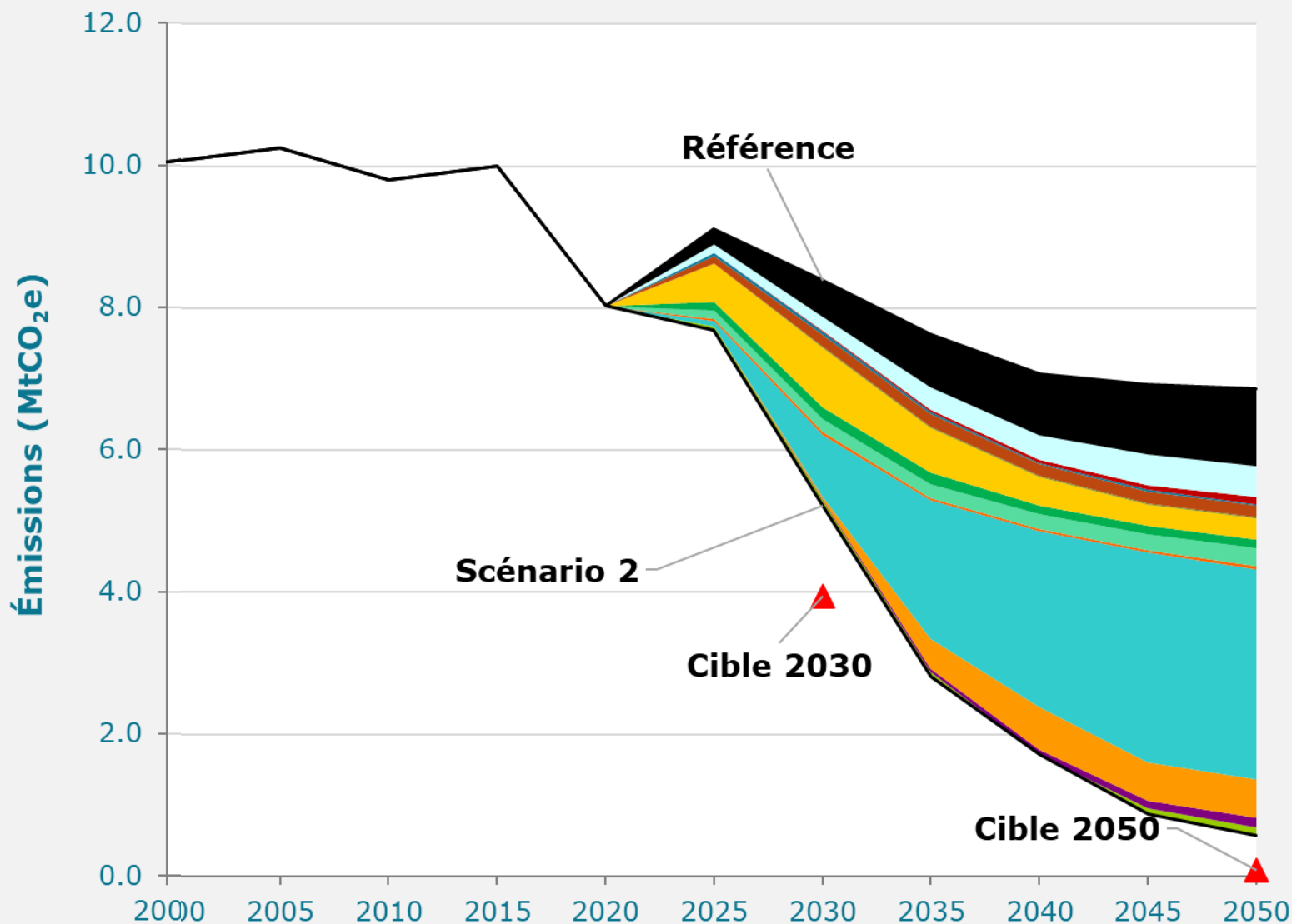
- Stocks & flux
- Délais

NB: écart d'environ 15% sur les émissions GES par rapport aux évaluations d'Atmosud, provenant de l'utilisation de rendements énergétiques des véhicules plus faibles par Atmosud (liés aux vitesses de circulation).

Scénario 2 « massification du report modal »



Réduction des émissions de GES par mesure



Enseignements clés:

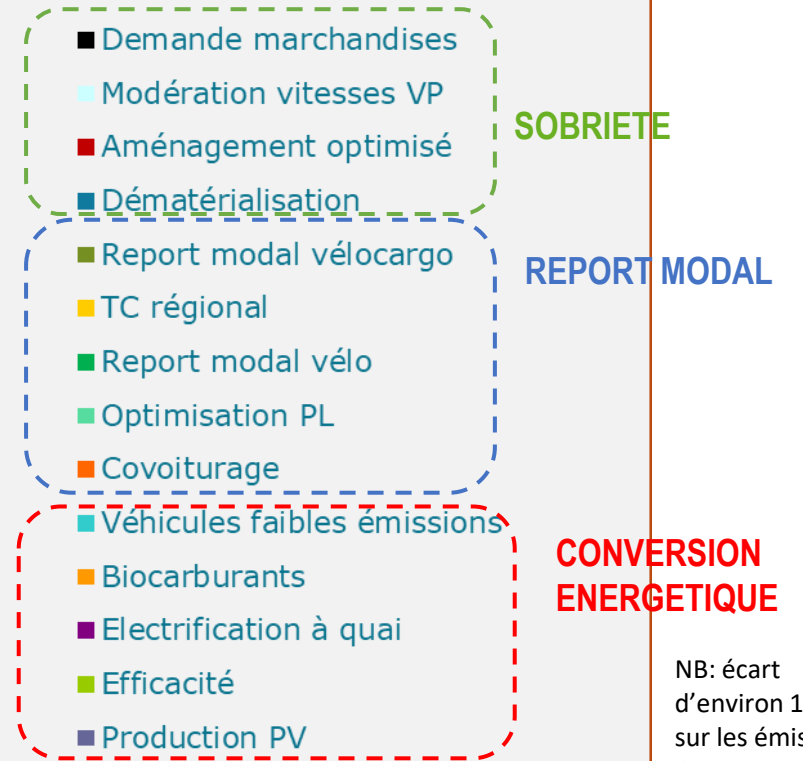
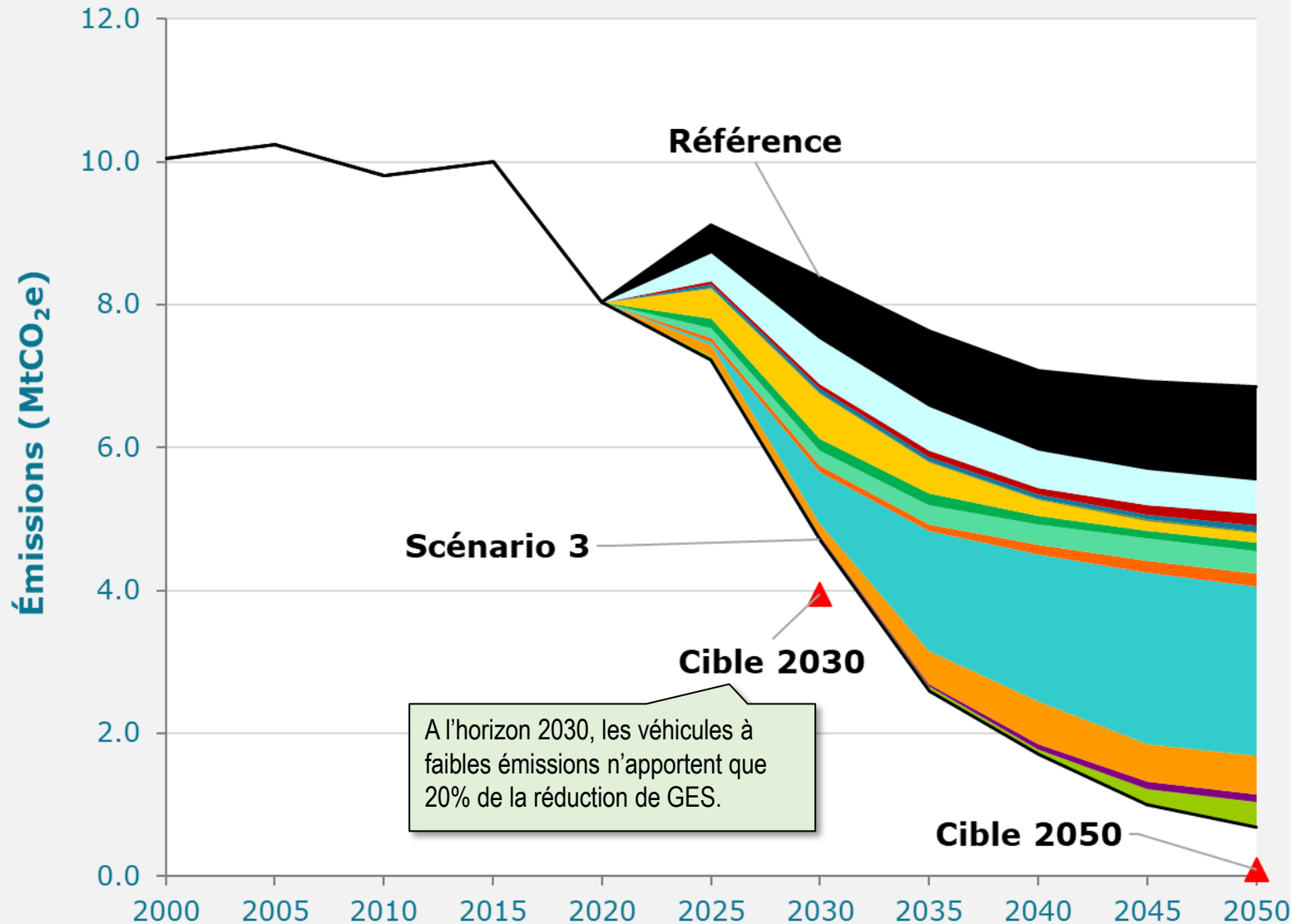
Rapidité et synergies

NB: écart d'environ 15% sur les émissions GES par rapport aux évaluations d'Atmosud, provenant de l'utilisation de rendements énergétiques des véhicules plus faibles par Atmosud (liés aux vitesses de circulation).

Scénario « Le défi de la sobriété »



Réduction des émissions de GES par mesure



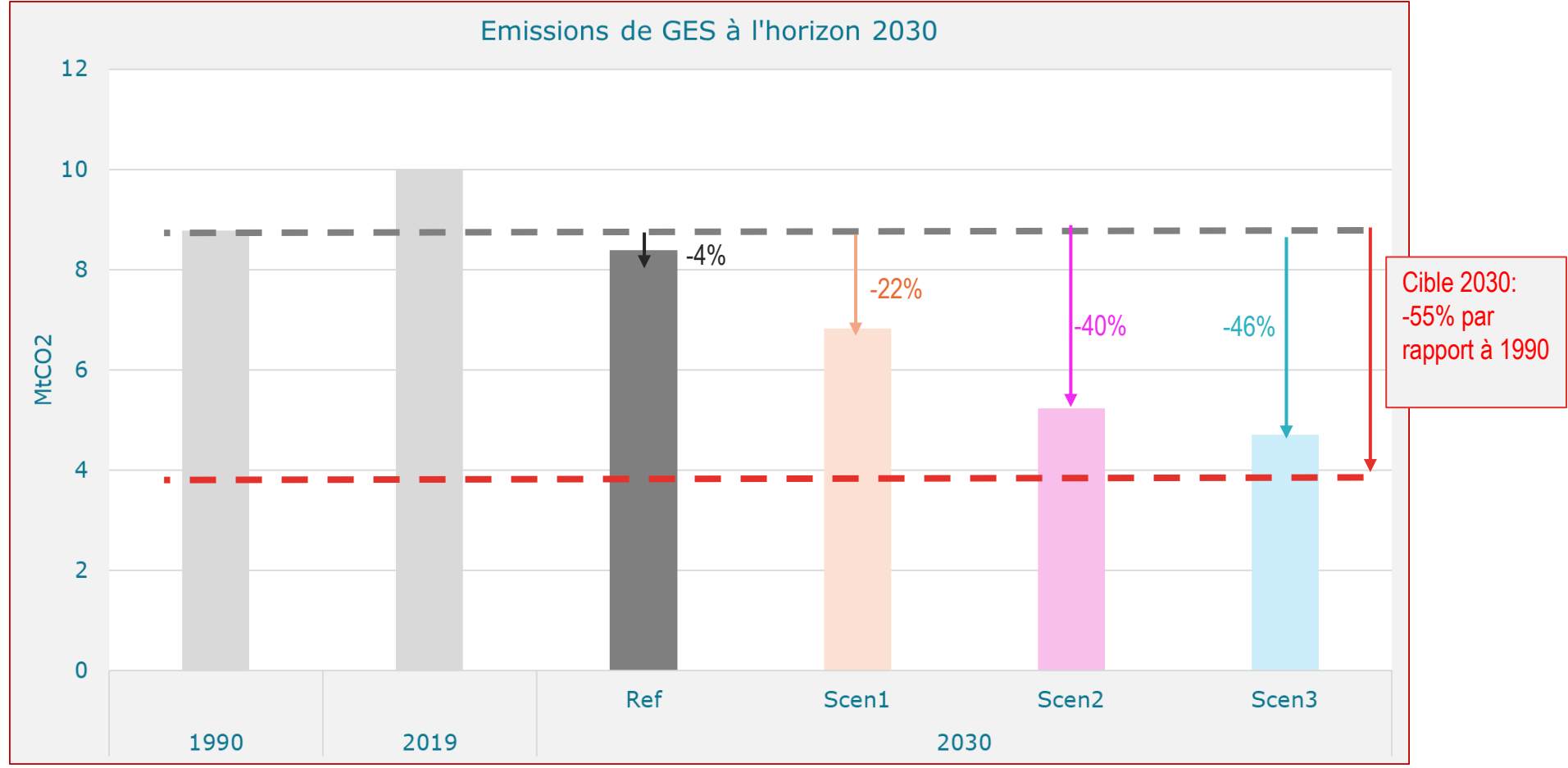
Enseignements clés:

Rapidité et synergies
Importance des leviers technologiques

NB: écart d'environ 15% sur les émissions GES par rapport aux évaluations d'Atmosud, provenant de l'utilisation de rendements énergétiques des véhicules plus faibles par Atmosud (liés aux vitesses de circulation).



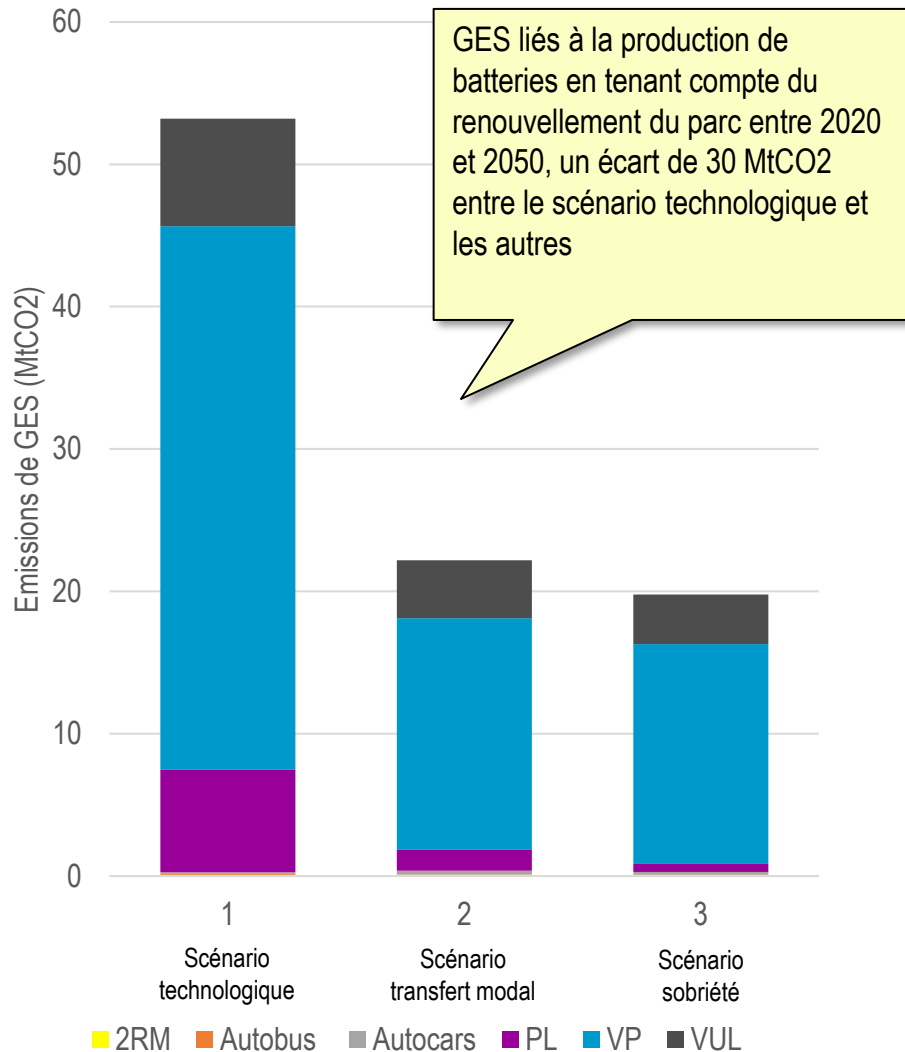
Impression générale à l'horizon 2030



Impacts du scénario 1 : a) production de batterie, b) emprises du stationnement



Emissions de GES liées à la production de batteries des véhicules neufs 2020-2050



En 2050, les scénarios 2 et 3 comptent environ 1'500'000 voitures de moins qu'avec le scénario 1.

Il faut 2 à 5 places de stationnement (25 m2/pl) par voiture immatriculée.

= 7'500 à 18'500 ha gagnés

→ 8 à 20 terrains de foot par commune de la Région Sud





I. Introduction

II. Méthodologie générale

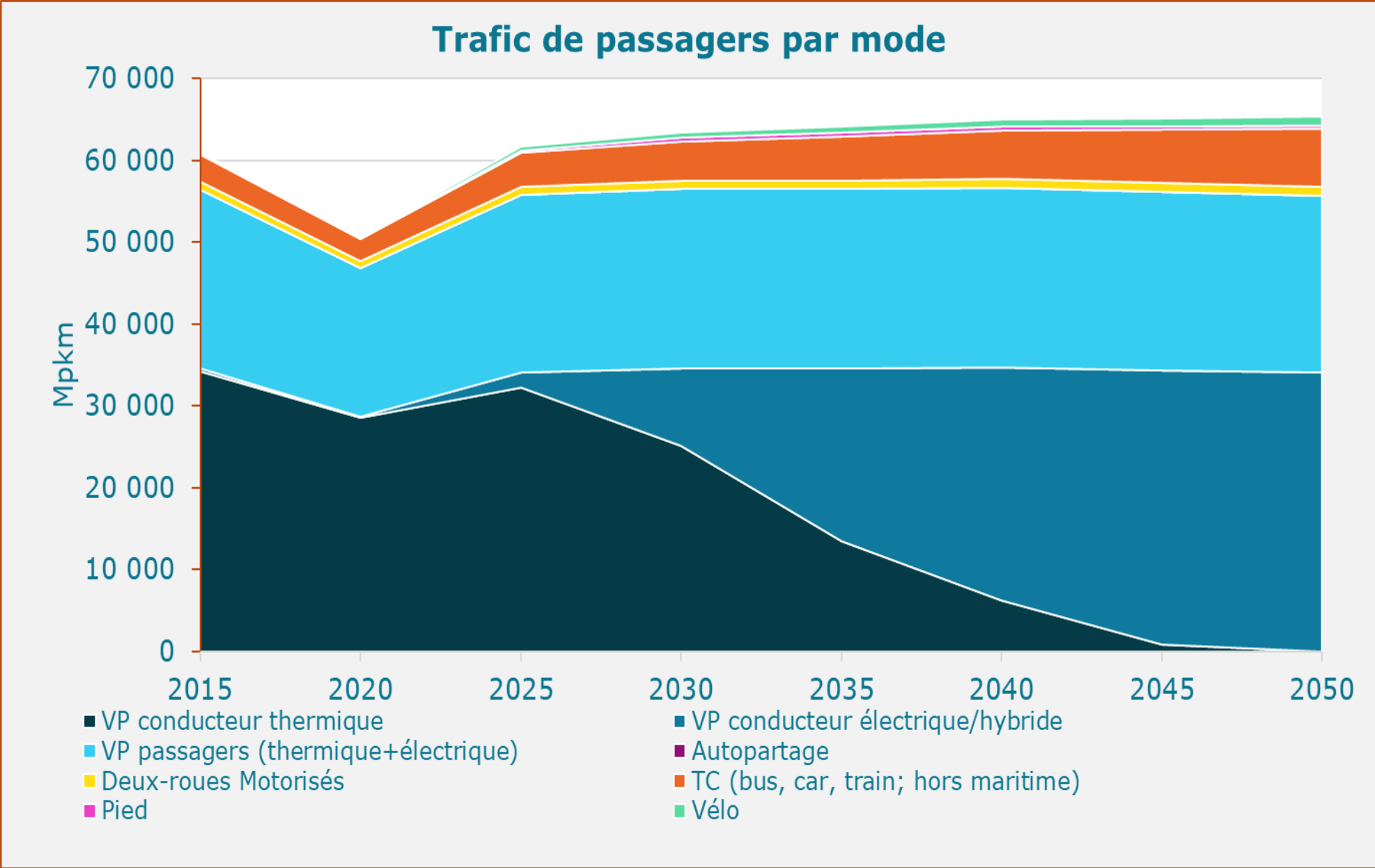
III. Scénarios modélisés

IV. Principaux résultats

- ✓ émissions de GES
- ✓ **parts modales (pkm et tkm)**
- ✓ Coûts d'abattement

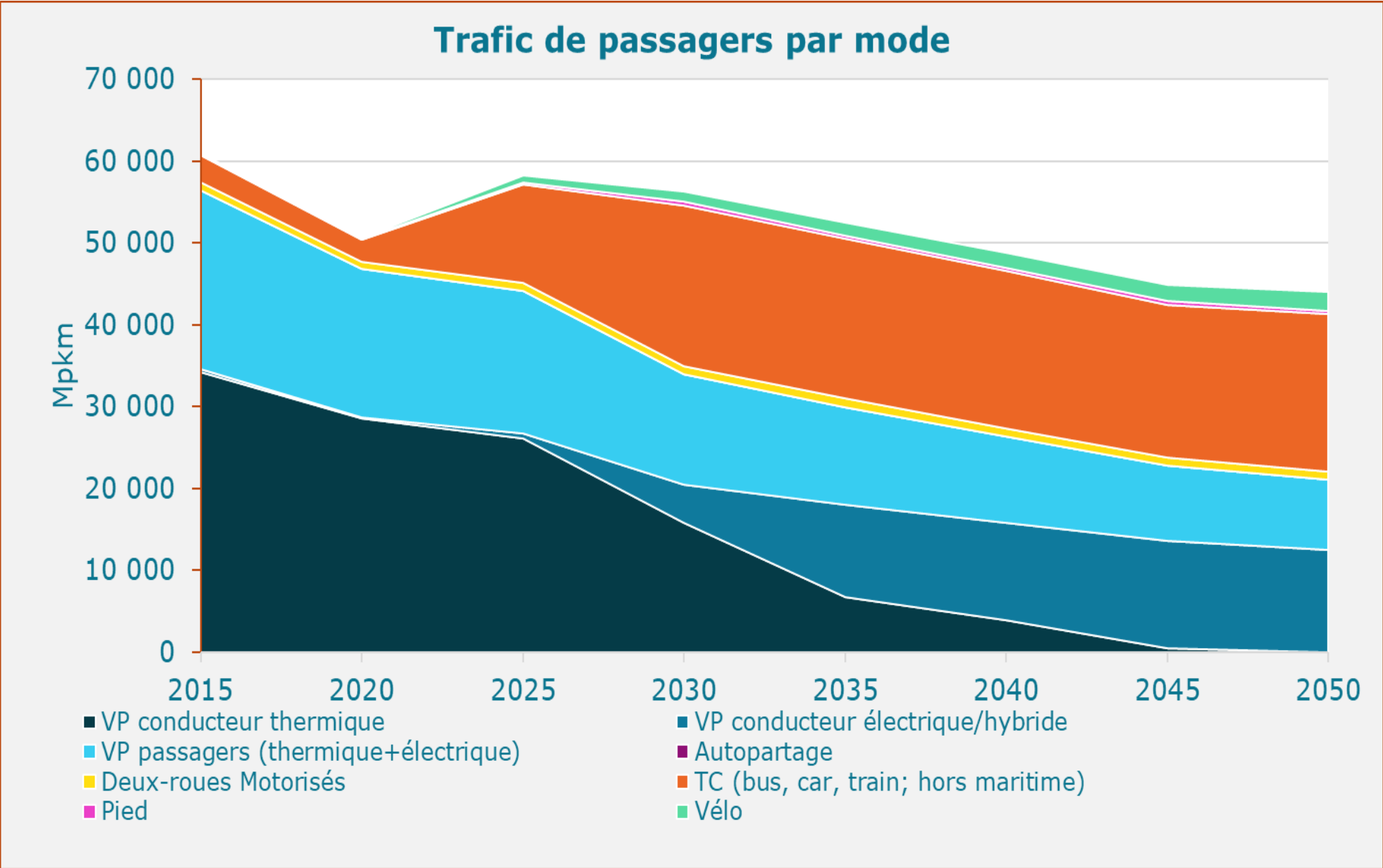
V. Quelques enseignements...

Choix modal des passagers et distances parcourues – scénario 1

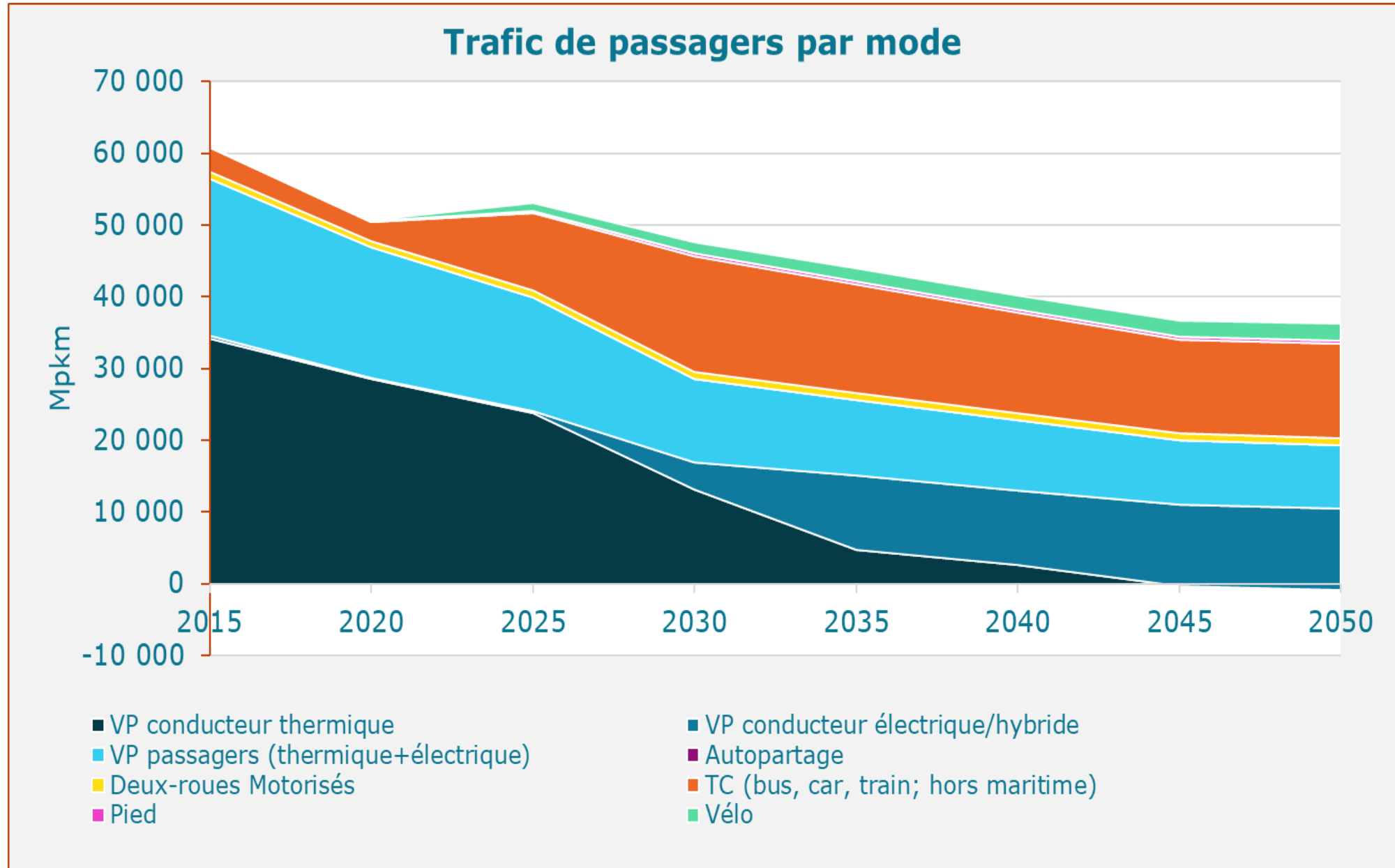


10%

Choix modal des passagers et distances parcourues – scénario 2



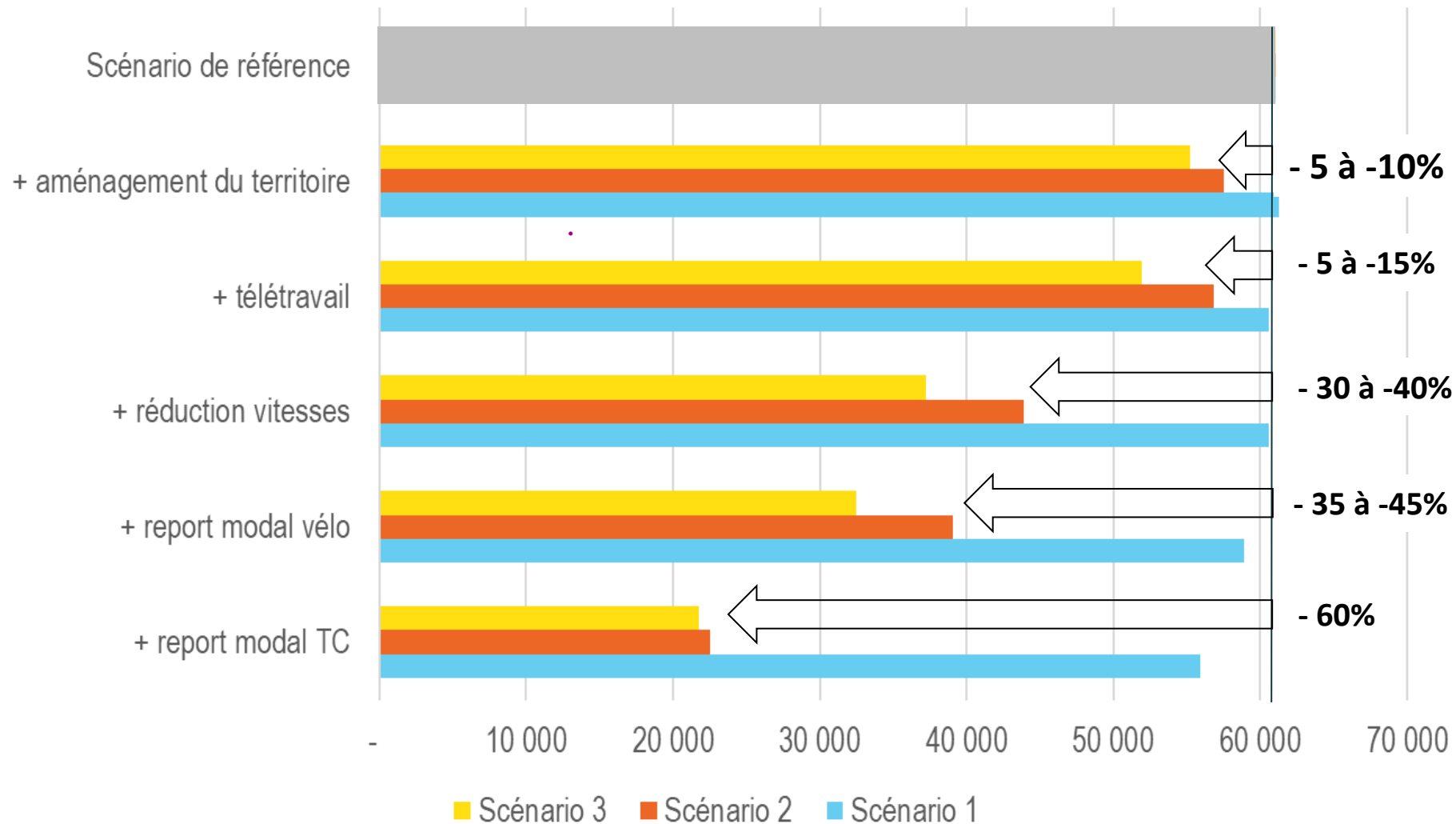
Choix modal des passagers et distances parcourues – scénario 3



Effet des mesures sur la mobilité VP à 2050, quelle acceptabilité ?

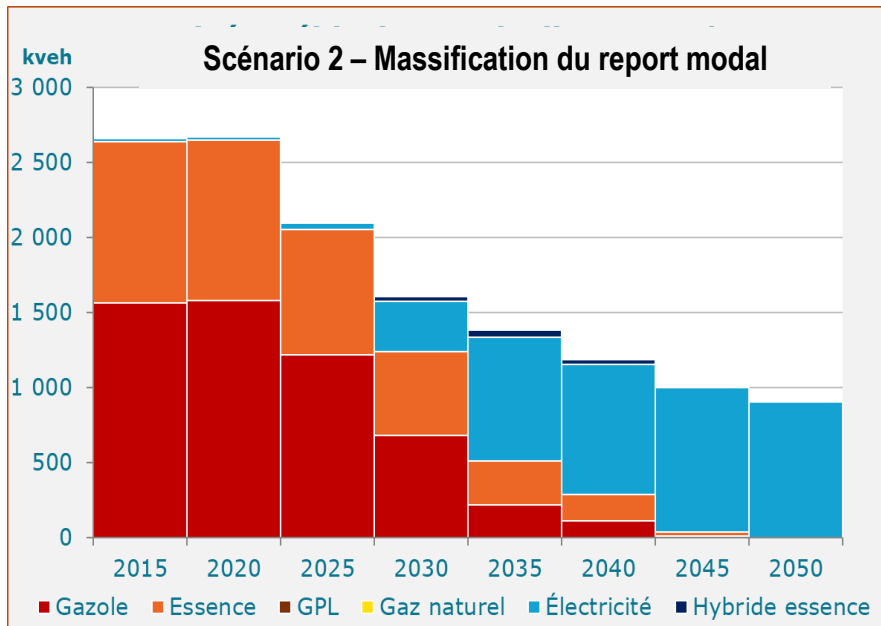
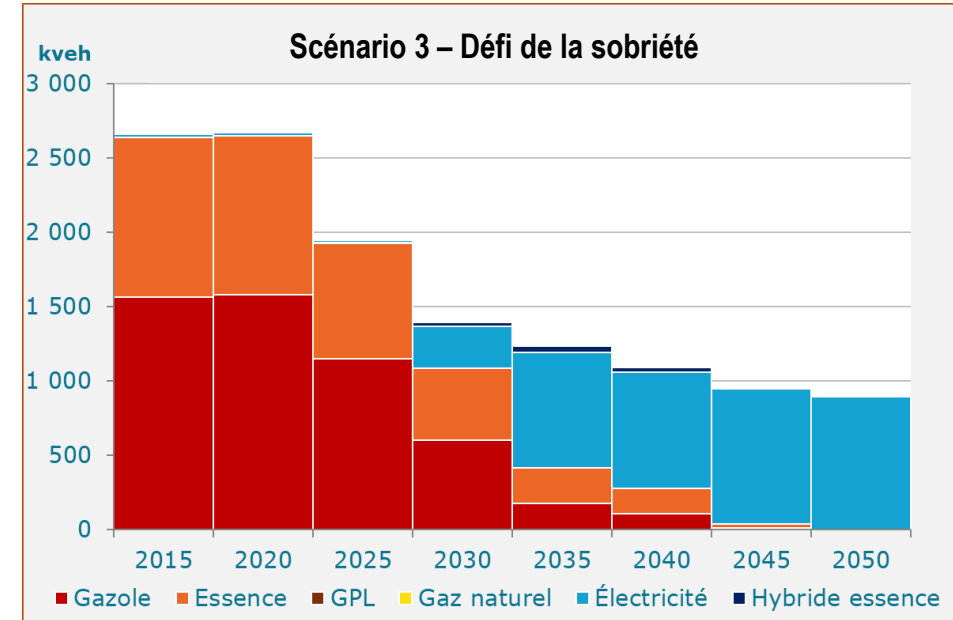
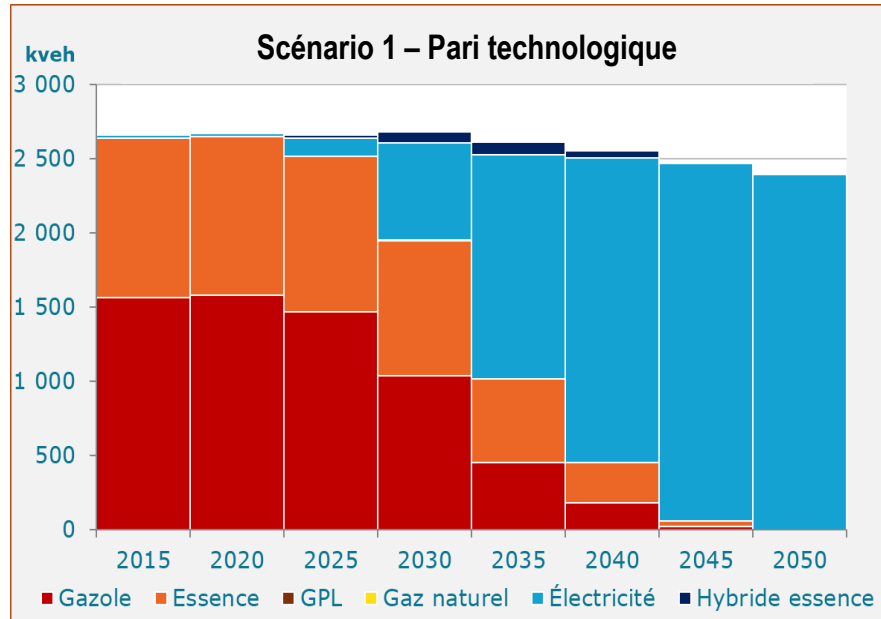


Effet des mesures sur la mobilité VP à l'horizon 2050 (Mpkm)





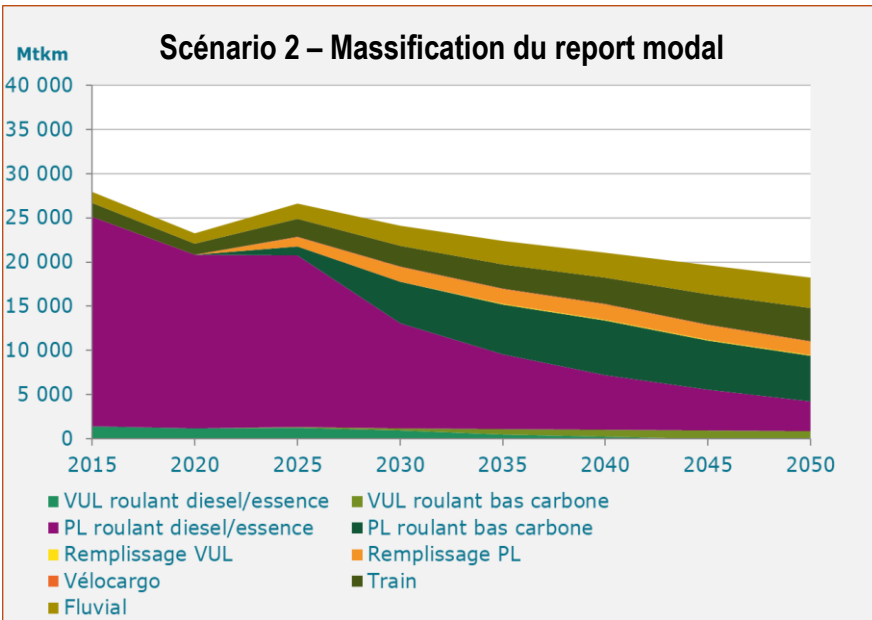
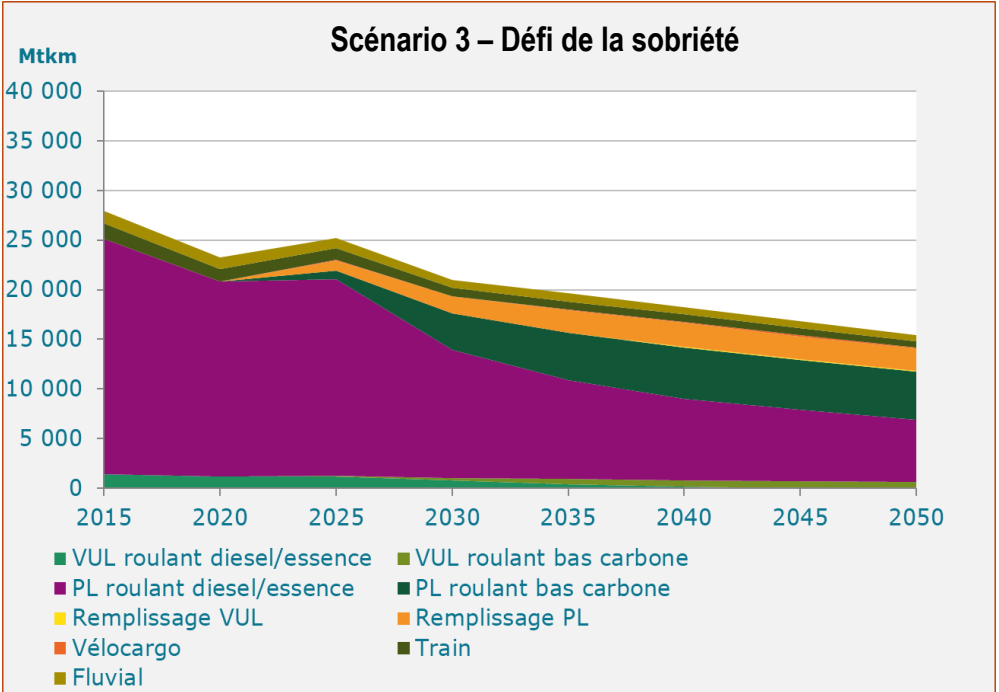
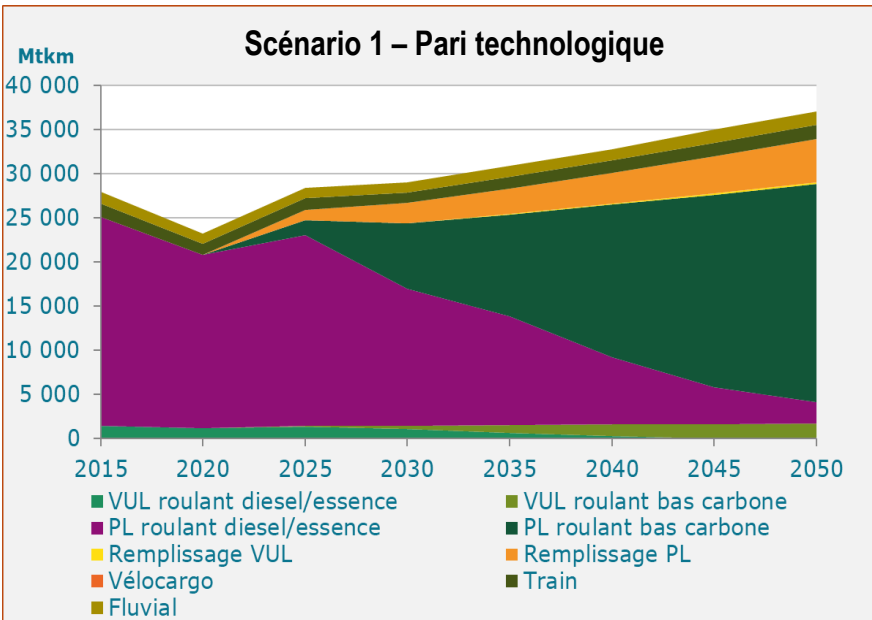
Evolution du parc de véhicules individuels (VP)



En 2050, dans le scénario 1, 1 Mtep d'électricité serait nécessaire pour l'ensemble des transports, à comparer à la production annuelle régionale d'électricité de 1,6 Mtep en 2022.

Scénario 2 et 3 : division environ par 3 du parc de VP

Evolution du trafic de marchandises par mode de transport



↕ 35%

- Le scénario 1 postule une poursuite de la croissance du trafic marchandises, avec une optimisation du remplissage et surtout la transition vers des PL bas carbone.
- Les scénarios 2 et 3 reposent sur une réduction du trafic marchandises, ce qui correspond à une production relocalisée en France.



I. Introduction

II. Méthodologie générale

III. Scénarios modélisés

IV. Principaux résultats

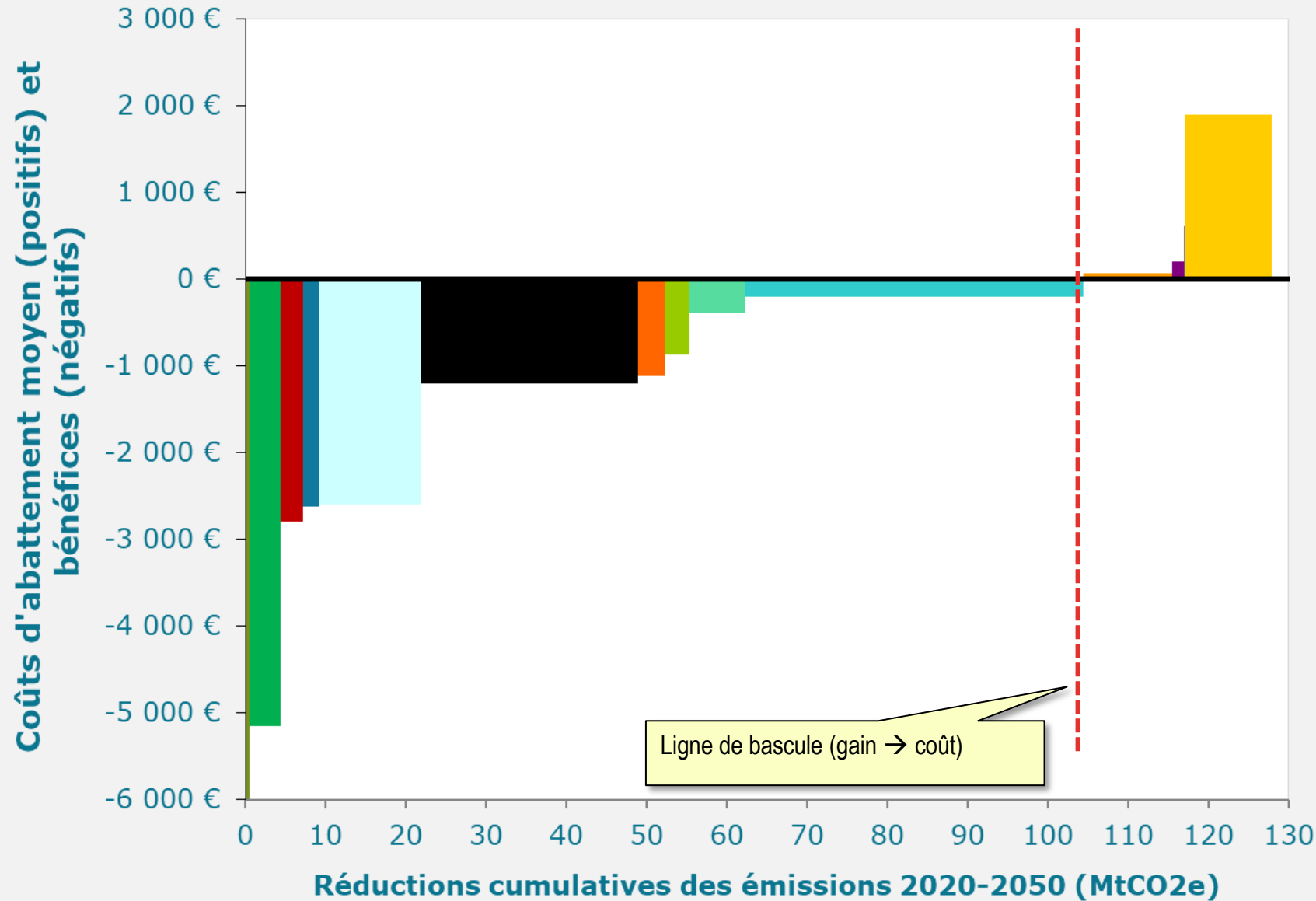
- ✓ émissions de GES
- ✓ parts modales (pkm et tkm)
- ✓ **Coûts d'abattement**

V. Quelques enseignements...



Coûts d'abattement socio-économiques moyens

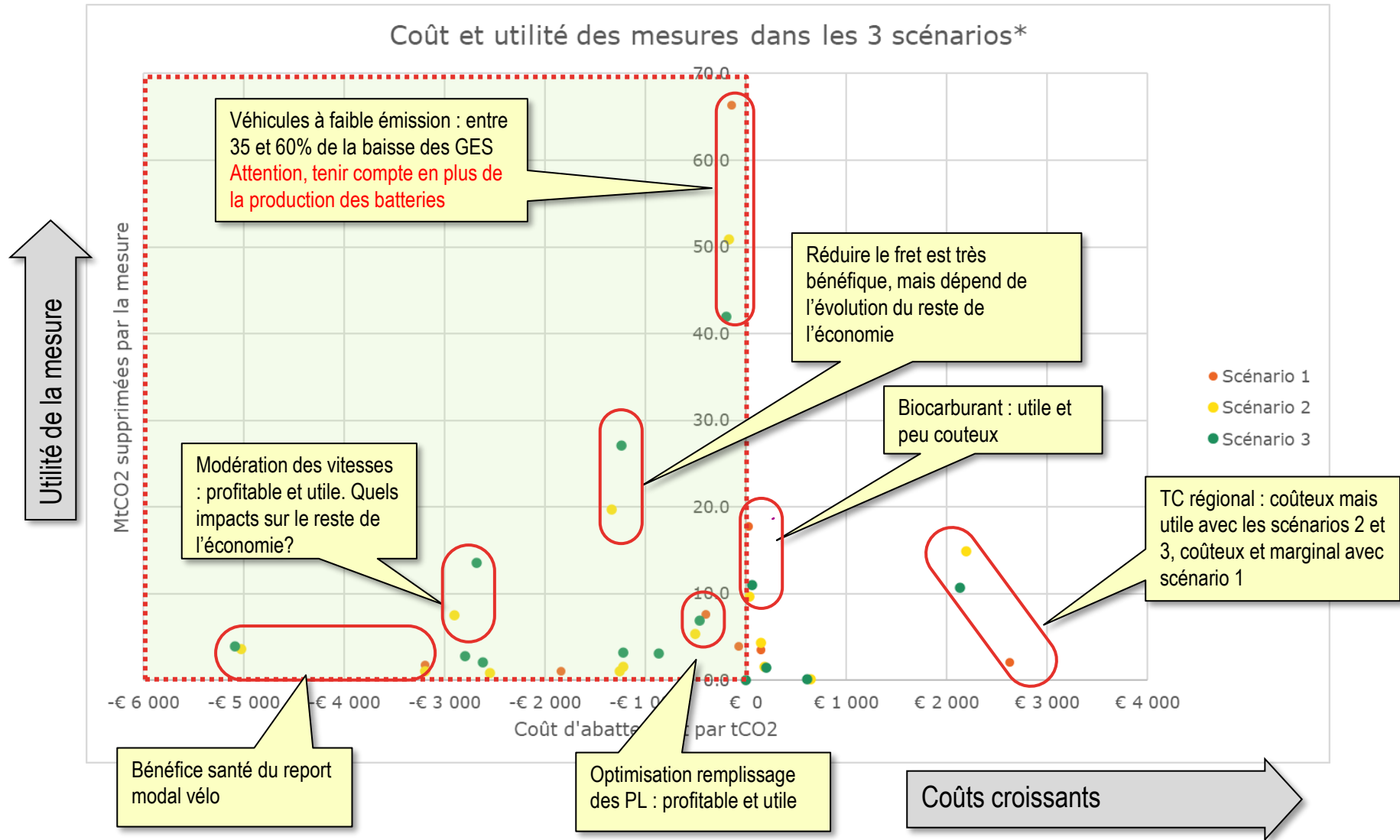
Scénario 3



- Report modal vélocargo
- Report modal vélo
- Aménagement optimisé
- Dématérialisation
- Modération vitesses VP
- Demande marchandises
- Covoiturage
- Efficacité
- Optimisation PL
- Véhicules faibles émissions
- Biocarburants
- Electrification à quai
- Production PV
- TC régional

NB: graphe hors mesures contribuant à augmenter les émissions

Coûts d'abattement socio-économiques



Décrypter la mesure sur les transports collectifs régionaux



Emissions GES:

- - [10 ; 15] MtCO₂ pour les scénarios 3 et 2
- **Pénalisée dans la comptabilité** par l'électrification progressive des VP...
- **Avantages complémentaires :**
 - Rareté de l'espace
 - Aménagement du territoire
 - Frugalité (énergie, ressources métalliques)
 - ...

Coûts socio-éco (pour les scénarios 3 et 2):

- + [1000 ; 1 500] M€ / an dans les infrastructures (majoritairement ferroviaires)
- + [300 ; 500] M€ / an dans l'acquisition et l'exploitation
- + [170 ; 250] M€ / an de perte de taxes pour la puissance publique (neutre dans le calcul socio éco)
- - [60 ; 240] M€ / an grâce à la baisse des accidents

Véhicules à faibles émissions



Emissions GES:

- - [50 ; 66] MtCO₂ : mesure avec le plus important gisement de réduction d'émissions (sans prise en compte empreinte batteries)

Coûts socio-éco :

- + [200 ; 500] M€/ an dans les subventions d'acquisition (2025 – 2040)
- + [600 ; 800] M€/ an de perte de taxes pour la puissance publique (neutre dans le calcul socio éco)
- - [300 ; 400] M€ / an grâce aux économies liées à l'acquisition et usage
- - [300 ; 500] M€ / an grâce aux externalités

Modération des vitesses / évaporation du trafic



Emissions GES:

- - [9 ; 15] MtCO₂ pour les scénarios 2 et 3 respectivement
- **Pénalisée dans la comptabilité** par l'électrification progressive des VP...
- **Avantages complémentaires**

Coûts socio-éco :

- **+ [100 ; 200] M€/ an de perte de taxes pour la puissance publique** (neutre dans le calcul socio éco)
- - [1300 ; 2000] M€ / an grâce aux économies acquisition et usage des véhicules (entre 700k et 800k de VP en moins en 2050)
- - **200 M€ / an** grâce aux gains en maintenance des infrastructures routières
- - [200 ; 300] M€ / an grâce aux externalités



I. Introduction

II. Quelques éléments méthodologiques

III. Scénarios modélisés

IV. Principaux résultats

V. Quelques enseignements...

Décrypter les scénarios



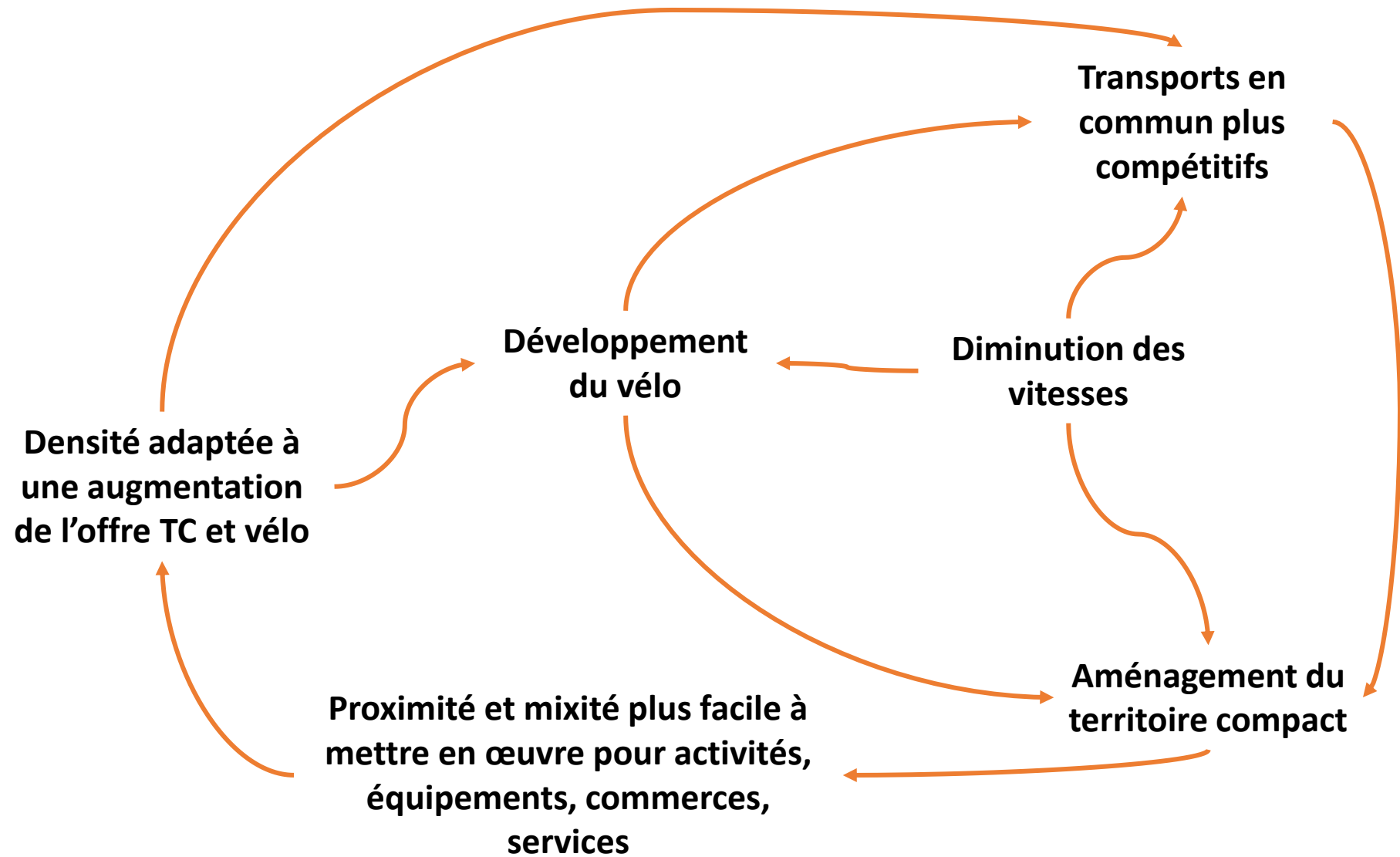
Scénario 1

Scénarios 2 & 3

Effets	Pas de remise en cause des modes de vie et de consommation, des processus de production, des comportements de mobilité.	Le plus de co-bénéfices environnementaux, d'économies et de réduction CO2
Posture	Scénario « passif »	Scénarios « volontaristes »
Robustesse	Scénario lent , et 85% de la réduction CO2 dépend de deux leviers (VFE et biocarburants)	Scénarios rapides et large gamme de mesures
Quelques enjeux ...	Comment sécuriser les ressources nécessaires (électricité, métaux) ? Comment concilier avec les autres limites planétaires?	Comment obtenir l'adhésion de la population et maintenir productivité des acteurs économiques? Comment financer le saut d'offre TC ?
Rôle de la Région	Peu de possibilité d'agir sauf subventions à l'acquisition	Multiple: coordination des acteurs, financeurs, AOM...



Exemple de synergies (scénarios 2 et 3)



Recommandation d'actions concrètes issue de l'étude



Palier 0 : préparer

Annoncer la stratégie et les jalons (préparer les esprits en vue d'une mobilisation)

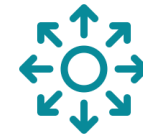
Palier 1: mesures pilotes

- Début modération vitesse
- Covoiturage (dont VR2+ en urbain)
- Développement important vélo (dont intermodalité TC)
- Renforcement bus et cars régionaux (dont VRTC en urbain)
- Amélioration offre TER là où l'infra le permet (simultanément orientation aménagement du territoire)
- Soutien au développement de PV sur habitat individuel
- Tiers lieux pour dématérialisation



Palier 2: généralisation

- Accélération transition véhicules à faible émission
- Renforcement des infrastructures ferroviaire
- Mise en service d'interfaces transfert modal PL-rail et fluvial
- Extension modération vitesse
- Augmentation de la production de biocarburants
- CENAQ (conversion énergétique navires à quai)



Palier 3: restrictions

- Réglementation marchandise à l'échelle régionale,
- Augmentation du prix du stationnement
- Principe pollueur-payeur ou consommateur-payeur mais avec équité sociale

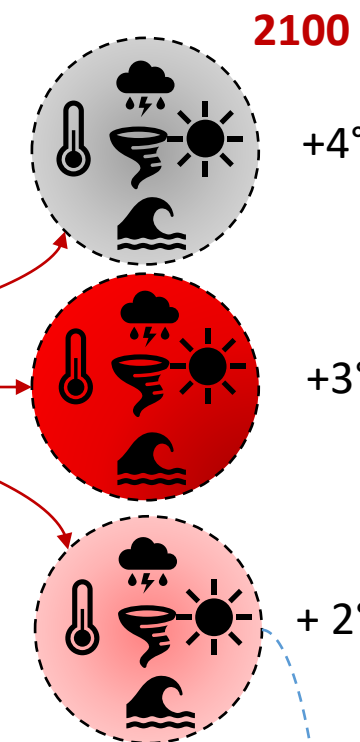
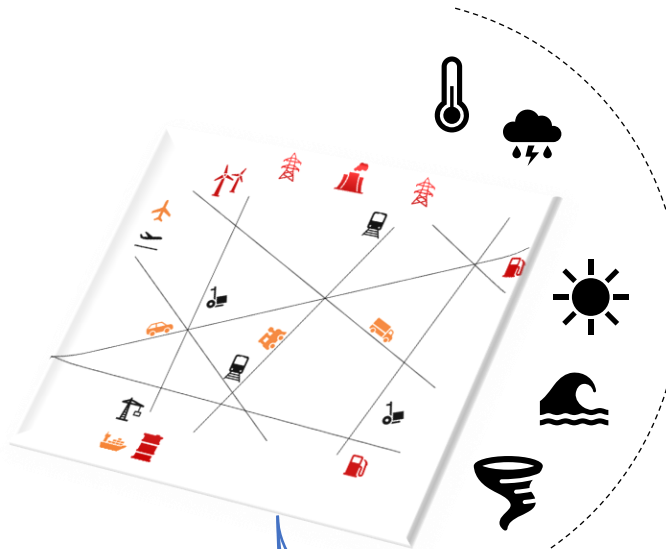




Quelques enseignements...

1. **Beaucoup de mesures génèrent des économies et co-bénéfices non marchands**
2. **Scénario efficace, rapide et résilient si bouquet de mesures coordonnées et en synergies (et pas seulement 2-3 mesures technologiques phares)**
3. **Pragmatisme - pour la Région:**
 - Crédibilité / exemplarité
 - Coordination et animation planification écologique
 - Soutien technique et financier
 - Offre et tarification TC régionaux
4. **Rapidité de déploiement – repenser les règles d’usage des « stocks »:**
 - Temps:
 - Vitesses de circulation
 - Réaffectation des voiries : vélo, VRTC, VR2+...
 - Coûts
5. **Embarquer** - récit qui objective le changement, crée de nouveaux imaginaires, touchant le maximum d’acteurs
6. Attention à **ne pas utiliser que le critère carbone** (limites planétaires)

Démarche prospective Région Sud – Transports et mobilité



ADAPTATION

Quelles évolutions des aléas climatiques ?

Quels risques physiques pèsent sur les infrastructures de transport d'intérêt national et régional ?

Evaluation prospective des risques physiques
→ Etude en cours
Résultats à venir (fin 2024)

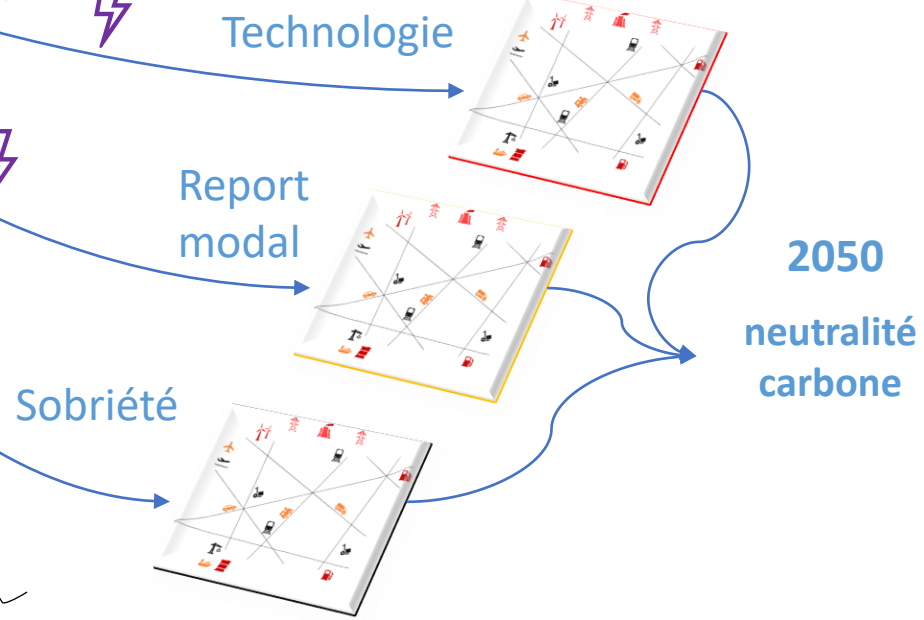
ATTENUATION

Quelles transformations (technologiques et comportementales) des transports pour atteindre la neutralité carbone en 2050 ?

Evaluation technico-économique de 3 scénarios prospectifs de décarbonation des transports
→ Etude terminée
Résultats obtenus (juin 2023)

Quelles actions complémentaires déployées dans les autres secteurs (industrie, énergie, emploi...) pour minimiser les risques de transition ?

Evaluation prospective des risques de transition
→ Lancement étude à venir
(résultats fin 2024)



Annexes



Méthode de projection 2025-2050 des trafics 2019

Règles d'évolution des trafics en fonction des leviers activés dans les scénarios :

- Évolution des parts modales :
 - Via un modèle de trafic pour report vers les TC régionaux
 - Par règle d'élasticité pour les autres modes
- Budget temps mobilité admis constant (« loi de Zahavi »)
- Selon les mesures, évolution du taux d'occupation des véhicules ou de la charge transportée (fret)
- Selon les mesures, évolution proportionnelle sur les km parcourus en fonction de l'importance de la mesure (par exemple télétravail)
- Prise en compte pour certaines mesures d'un effet rebond ou amorti

Entrant pour le modèle = **passager*km** par mode de transport (pkm) ou **tonne*km** (tkm) par mode de transport

X = porteur de la mesure (acteur principal ou utilisateur)

(X) = conditions cadres : incitations, normes, règlements, lois, accompagnement



Mesure	Ménages (usagers)	Entreprises (usagers)	EU / Etat	Collectivités	Industrie
1. Efficacité énergétique	X	X	(X)		X
2. Véhicules à faibles émissions	X	X	(X)	(X)	(X)
3. Biocarburants		X	(X)	(X)	X
4.1 Report modal vers le vélo	X	X	(X)	(X)	
5.1 De l'autosolisme au covoiturage	X		(X)	X, (X)	
6. Production d'énergie renouvelable	X	X	X, (X)	X, (X)	
7. Transports publics régionaux	X		(X)	X	
8. Aménagement du territoire			(X)	X, (X)	
9. Télétravail	X	X	(X)	X	
10.1 Optimisation remplissage PL		X	(X)	(X)	
10.2 Transfert modal VUL-> vélocargo		X	(X)	(X)	
10.3 Transfert modal PL-> rail et fluvial		X	(X)	(X)	
10.4 Impact e-commerce	X	X	(X)		(X)
11 Conversion énergétique navire		X	(X)	X	
12 Réduction flux marchandise	X	X	(X)	(X)	X
13 Abaissement des vitesses			X	X	

Est-ce que celui qui est censé porter la mesure y trouve un avantage direct ?

Par exemple, est-ce que d'acheter une voiture à faible émission m'apporte un avantage personnel ?

Vitesse de déploiement et délais avant de voir des effets



Mesures rapides (1-3 ans)

- Réduction des vitesses
- Transfert modal vers le vélo
- De l'autosolisme au covoiturage
- Transports publics régionaux routiers
- Télétravail

Mesures moyennes (5-10 ans)

- Véhicules à faible émission
- Biocarburant
- Production d'énergie renouvelable
- Transports publics régionaux ferroviaires (à infra constante)
- Toutes les mesures marchandises
- Conversion énergétique navires à quai

Mesures lentes (plus de 10 ans)

- Aménagement du territoire
- Efficacité énergétique (R&D)
- Transports publics régionaux ferroviaires (développement d'infra)
- Décarbonation gros porteurs (avions, marchandise)