

# RÉUSSIR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DE L'EUROPE

Trajectoires de décarbonation de l'Europe  
Le scénario d'ENGIE

12 novembre 2024

# Réussir la transition énergétique de l'Europe

---

**1. Méthodologie et indicateurs clés**

**2. Demande finale**

**3. Renouvelables et flexibilité**

**4. Molécules décarbonées**

**5. Coût de la transition**

**6. Trajectoire d'émissions**

**7. Risques**

**8. Synthèse et recommandations**

# Réussir la transition énergétique de l'Europe

---

**1. Méthodologie et indicateurs clés**

2. Demande finale

3. Renouvelables et flexibilité

4. Molécules décarbonées

5. Coût de la transition

6. Trajectoire d'émissions

7. Risques

8. Synthèse et recommandations

# Méthodologie pour définir une trajectoire de décarbonation optimisée pour l'Europe



## Une vision européenne...

- Modélisant **15 pays européens\***, dont les systèmes énergétiques sont fortement interconnectés, et qui représentent plus de 85 % de la consommation énergétique totale de l'Europe\*\*



## ... fondée sur des choix techno-économiques réalistes...

- Ne prenant en compte **que les technologies bas carbones au stade industriel** (c'est-à-dire excluant les technologies au stade de la recherche et du développement)
- Intégrant les **politiques actuelles** (par exemple, PNIEC), la **faisabilité industrielle**, et les **facteurs sociétaux** (par exemple, l'acceptabilité sociale)
- Utilisant des **études et des benchmarks externes de référence** pour les sujets hors de notre champ d'expertise, par ex. agriculture, secteur forestier (Commission européenne, ADEME, etc.)



## ... qui optimise la décarbonation à travers tous les vecteurs énergétiques...

- Recherchant une solution économique optimale à moyen-long terme pour atteindre les objectifs européens (-55 % en 2030 vs 1990, Net Zéro en 2050)
- Optimisant le système à travers tous les vecteurs énergétiques (**électricité, méthane, hydrogène, e-molécules, chaleur**)
- Modélisée avec une **granularité horaire** pour tenir compte des exigences de fiabilité et de résilience du système énergétique



## ... afin de minimiser les coûts de la transition énergétique.

- Fondée sur une comparaison avec un **scénario contrefactuel** se basant sur une absence de décarbonation au-delà de 2023 et se focalisant sur les **coûts totaux** (CAPEX et OPEX) de décarbonation des secteurs de **l'industrie, des transports, du résidentiel et de l'énergie**

# Tous les leviers sont nécessaires pour atteindre la trajectoire optimale de décarbonation pour l'Europe

## DEMANDE FINALE

**-30 %**

Baisse de la demande finale qui se découple de la croissance économique (PIB : +1,3 % par an)

## ELECTRIFICATION

**x5,5**

Production d'électricité éolienne et solaire

## DEMANDE DE MÉTHANE

**-45 %**

Baisse de la demande de méthane, qui sera entièrement décarboné

## COÛTS DE DÉCARBONATION

**<2 %**

du PIB d'ici à 2050

## DÉPENDANCE ÉNERGÉTIQUE

**-65 %**

Baisse des importations énergétiques (fossiles et e-molécules)

## FLEXIBILITÉ ÉLECTRIQUE

**x4,5**

Capacité de flexibilité totale, dont trois quarts provenant de la demande

## HYDROGÈNE

**x7**

Demande d'hydrogène et d'e-fuels, qui seront entièrement décarbonés

## COÛTS DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE

**~**

Coût par mégawattheure stable

# Réussir la transition énergétique de l'Europe

---

1. Méthodologie et indicateurs clés

**2. Demande finale**

3. Renouvelables et flexibilité

4. Molécules décarbonées

5. Coût de la transition

6. Trajectoire d'émissions

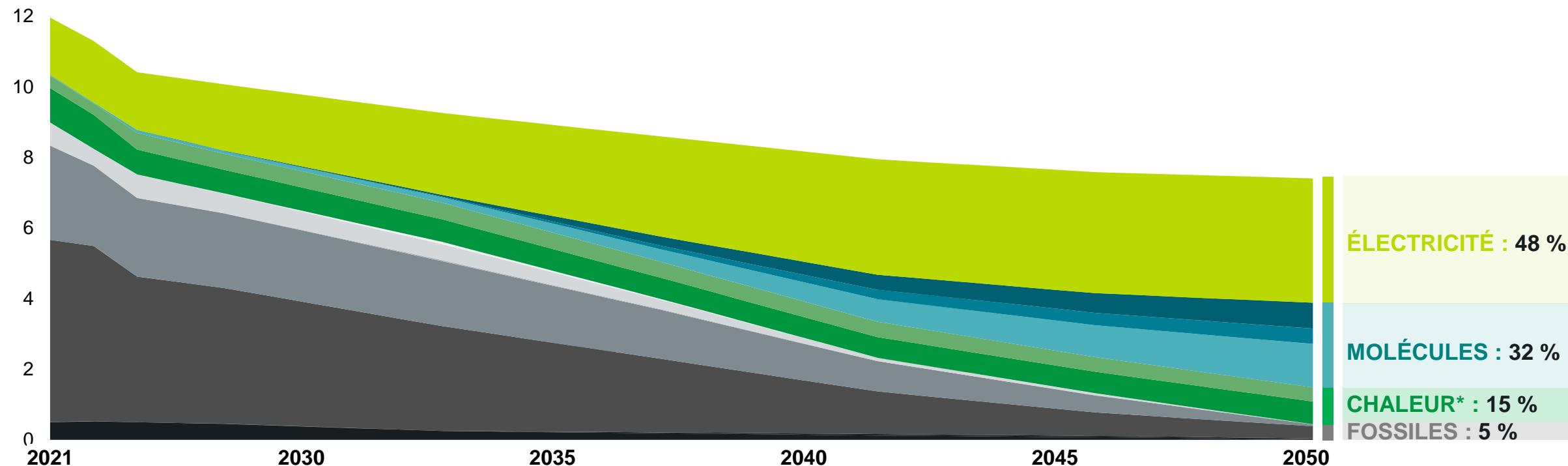
7. Risques

8. Synthèse et recommandations

# La demande finale d'énergie se réduit avec une électrification forte, complétée par des gaz et de la chaleur décarbonés

## Mix énergétique final optimisé | Europe-15

Milliers de TWh



### ÉNERGIES FOSSILES

- Charbon
- Chaleur fatale
- Électricité
- Pétrole
- Méthane
- Hydrogène

### ÉNERGIES À FAIBLES ÉMISSIONS DE CARBONE

- Biomasse solide
- Méthane
- Autres molécules
- Chaleur fatale, Géothermie
- Hydrogène
- Électricité

\* Chaleur : Biomasse, chaleur fatale et géothermie. Les catégories Électricité et Molécules incluent l'énergie nécessaire à la production de chaleur consommée par le biais des réseaux chaleur et froid (DHC).  
 Révision de la méthodologie par rapport à l'exercice 2023, excluant les utilisations non énergétiques du mix énergétique.  
 Le méthane bas carbone prend en compte le biométhane, le GN + CSC et l'e-méthane, tandis que les autres molécules correspondent à l'ammoniac, à l'e-méthanol et au kérosène.

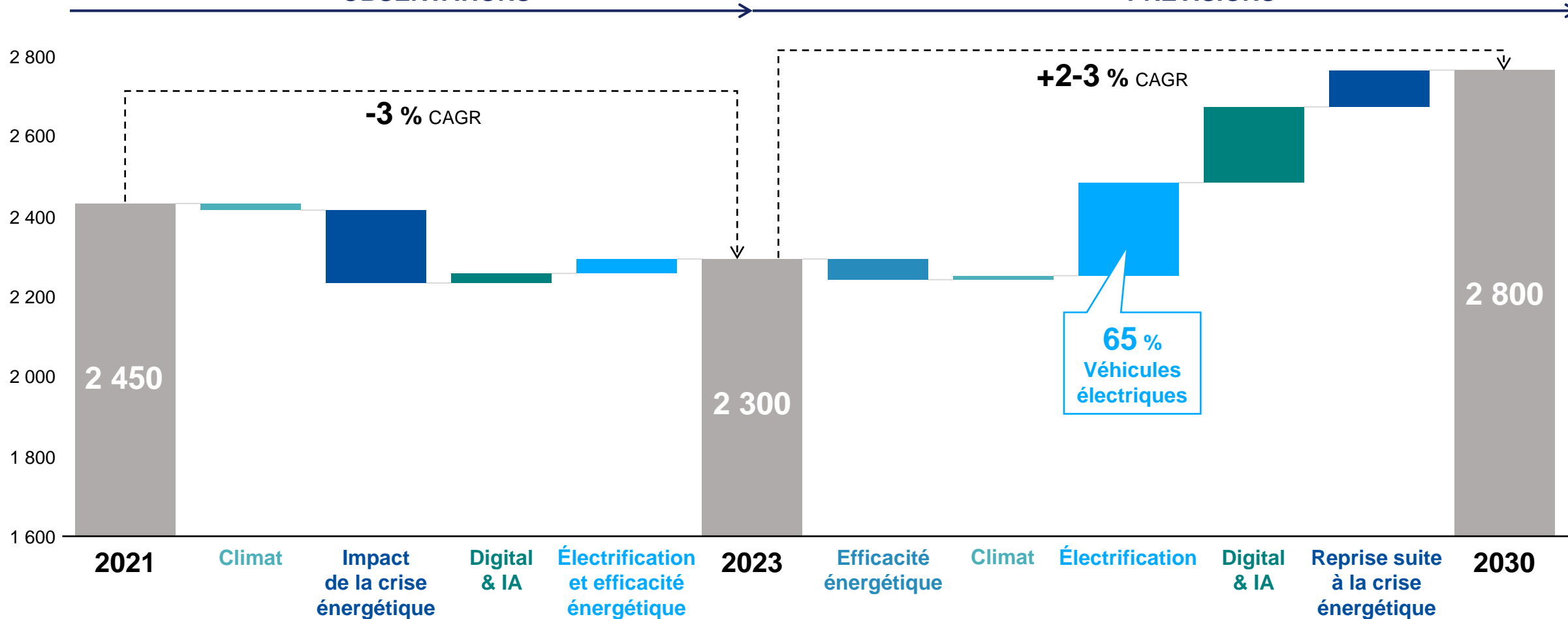
# Après une baisse importante liée à la crise énergétique, la demande d'électricité repart à moyen terme

## Consommation finale d'électricité | Europe-15

TWh

OBSERVATIONS

PRÉVISIONS



# Réussir la transition énergétique de l'Europe

---

1. Méthodologie et indicateurs clés

2. Demande finale

**3. Renouvelables et flexibilité**

4. Molécules décarbonées

5. Coût de la transition

6. Trajectoire d'émissions

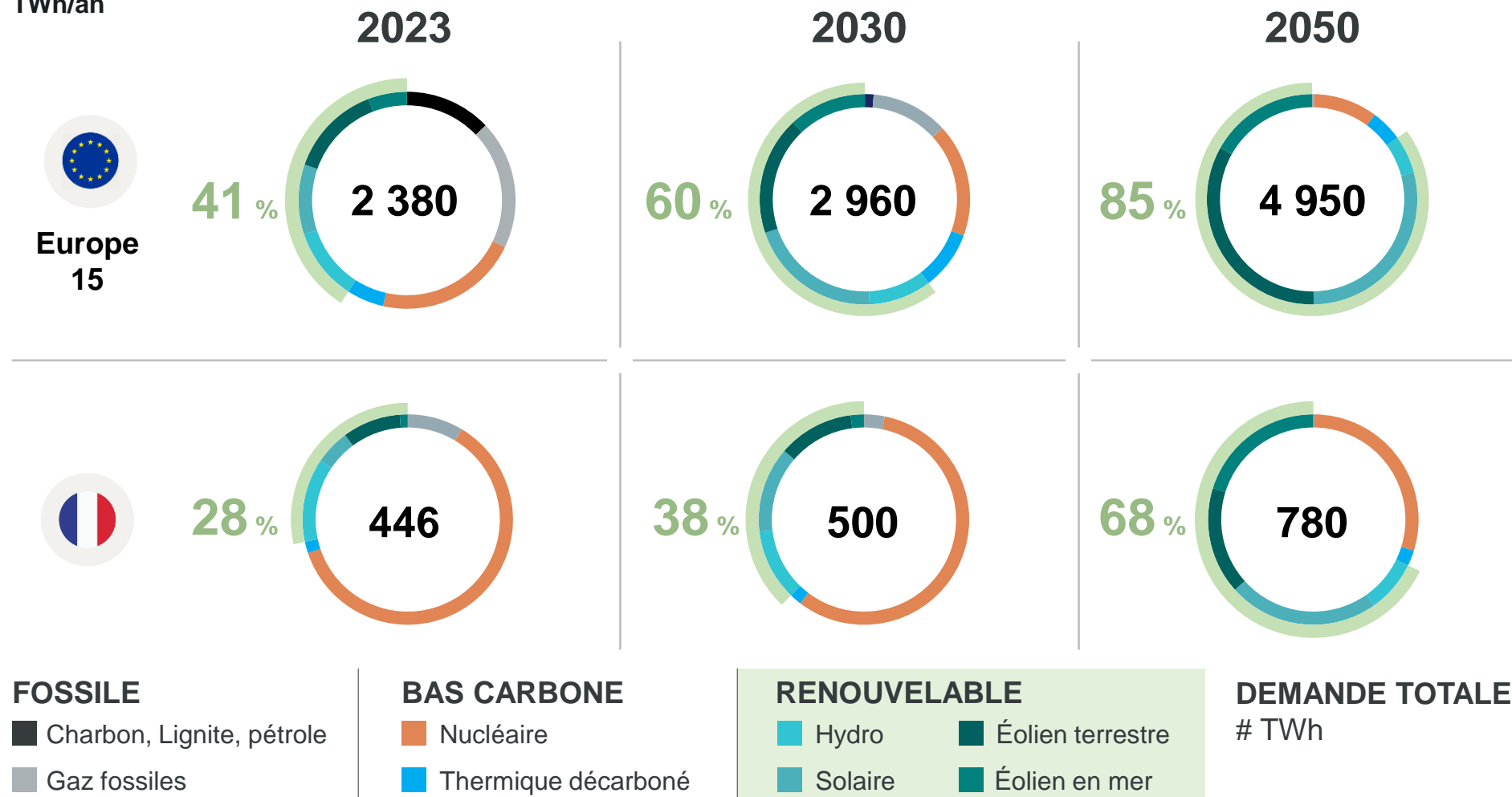
7. Risques

8. Synthèse et recommandations

# Le mix électrique se décarbone principalement grâce aux énergies renouvelables, ainsi qu'au nucléaire et au thermique décarboné

## Mix de la production d'électricité & demande totale

TWh/an



Production Solaire et Éolien

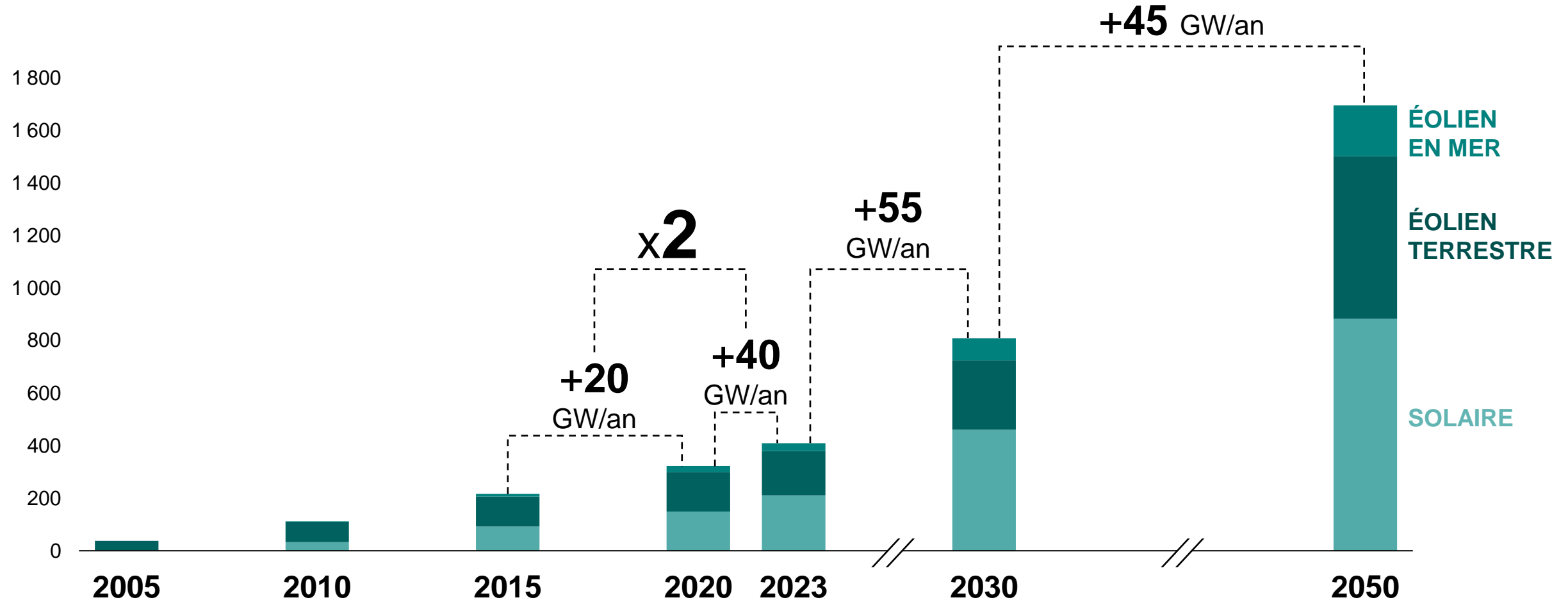
x5,5  
 x6

d'ici 2050

# L'accélération des énergies renouvelables est crédible au regard de la trajectoire récente de déploiement

## Historique et projection de capacités renouvelables | Europe-15

GW



# La capacité de flexibilité électrique doit être renforcée, en grande partie par les batteries et les solutions provenant de la demande

## Mix total de capacités flexibles | Europe-15

GW

1 000

800

600

400

200

0

2023

2030

2050

220

350

920

x4,5

Thermique flexible

Hydro

Batteries (Front-the-Meter)

Batteries

(Behind-the-Meter)

Pompes à chaleur hybrides

Véhicules électriques

Électrolyseurs

Pilotage de la demande (DSM)

Système électrique

Bâtiments et mobilité

Industries

OFFRE

DEMANDE

# Un développement insuffisant des leviers de flexibilité provenant de la demande aurait un impact majeur sur la viabilité et les coûts du système

## HYPOTHÈSES

Scenarios ou seules les solutions de flexibilité de l'offre se développent pour compléter la croissance des énergies renouvelables (i.e., pas de développement de solution de flexibilité de la demande) :

### VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Déployés comme prévu, mais ils ne contribuent pas à la flexibilité du système via la recharge intelligente ou le V2G

### POMPES À CHALEUR HYBRIDES

Seules les pompes à chaleur sont développées (c'est-à-dire, pas de pompes à chaleur hybrides)

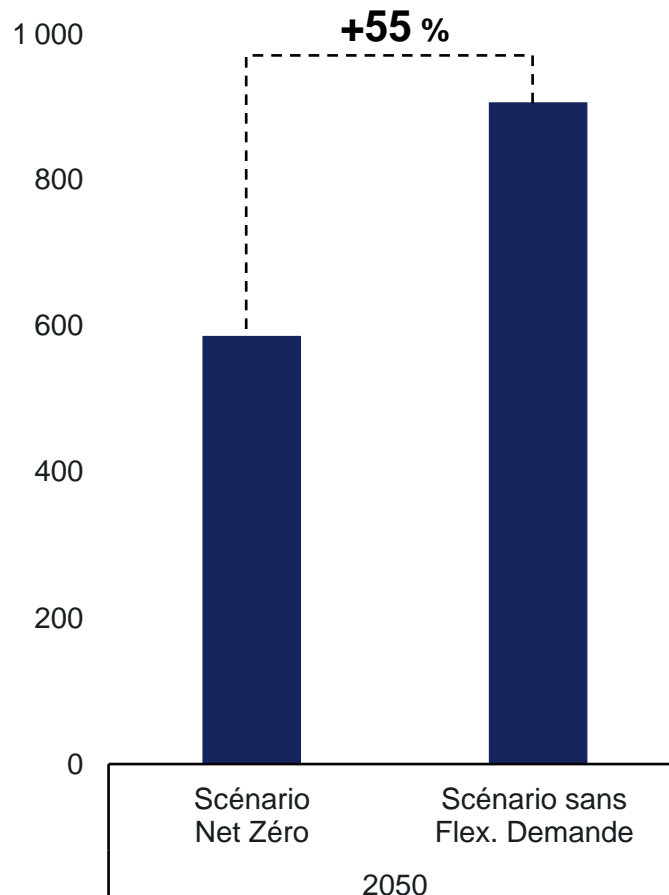
### PILOTAGE DE LA DEMANDE INDUSTRIELLE

Non exploitée pour la flexibilité du système

### ÉLECTROLYSEURS

Déploiement limité dans le cadre d'un fonctionnement en base uniquement

Pointe électrique | Europe-15  
GW, 2050



## IMPLICATIONS CLÉS

Par rapport à la Trajectoire Net Zéro

### Coûts de décarbonation

**+70 %** 150 Mds€/an  
(moyenne 2030-2050)

### Prix de gros moyens | France

**+25 %** Augmentation en 2050

# Réussir la transition énergétique de l'Europe

---

1. Méthodologie et indicateurs clés

2. Demande finale

3. Renouvelables et flexibilité

4. Molécules décarbonées

5. Coût de la transition

6. Trajectoire d'émissions

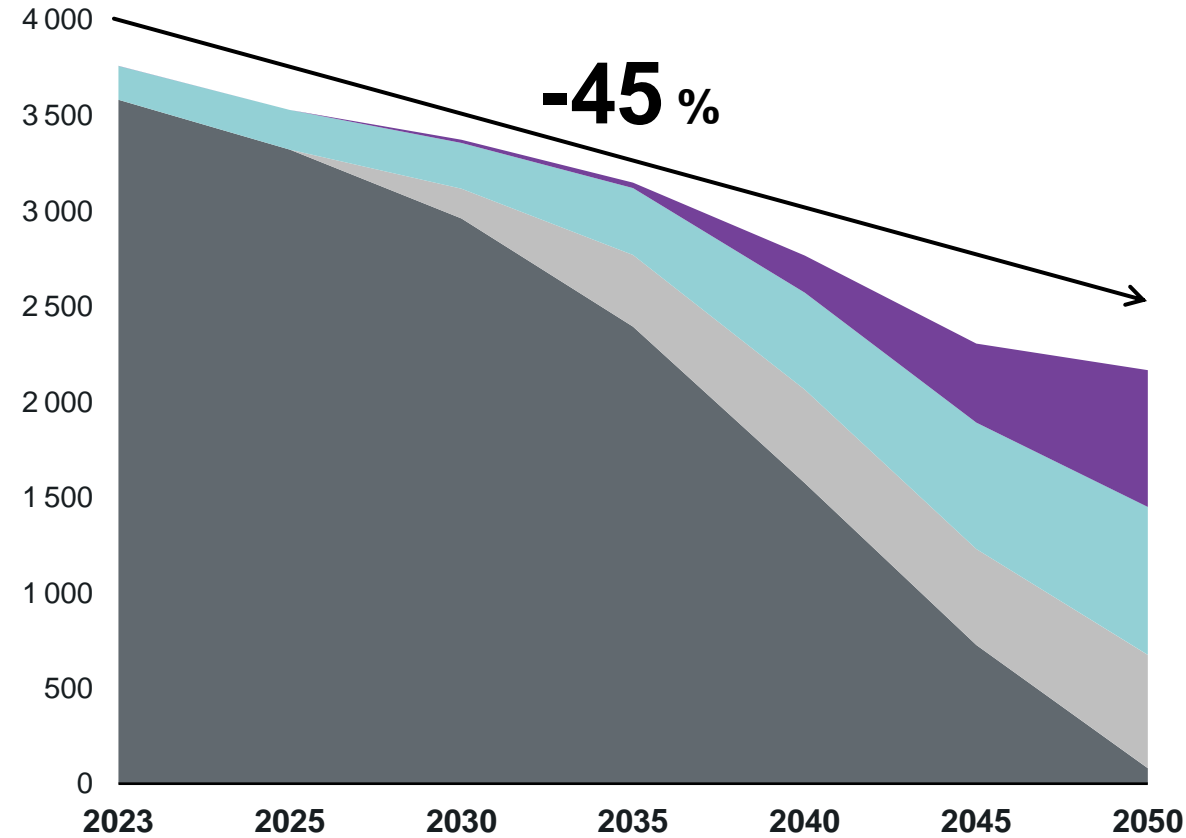
7. Risques

8. Synthèse et recommandations

# La demande de méthane se réduit massivement et est entièrement décarbonée à l'horizon 2050

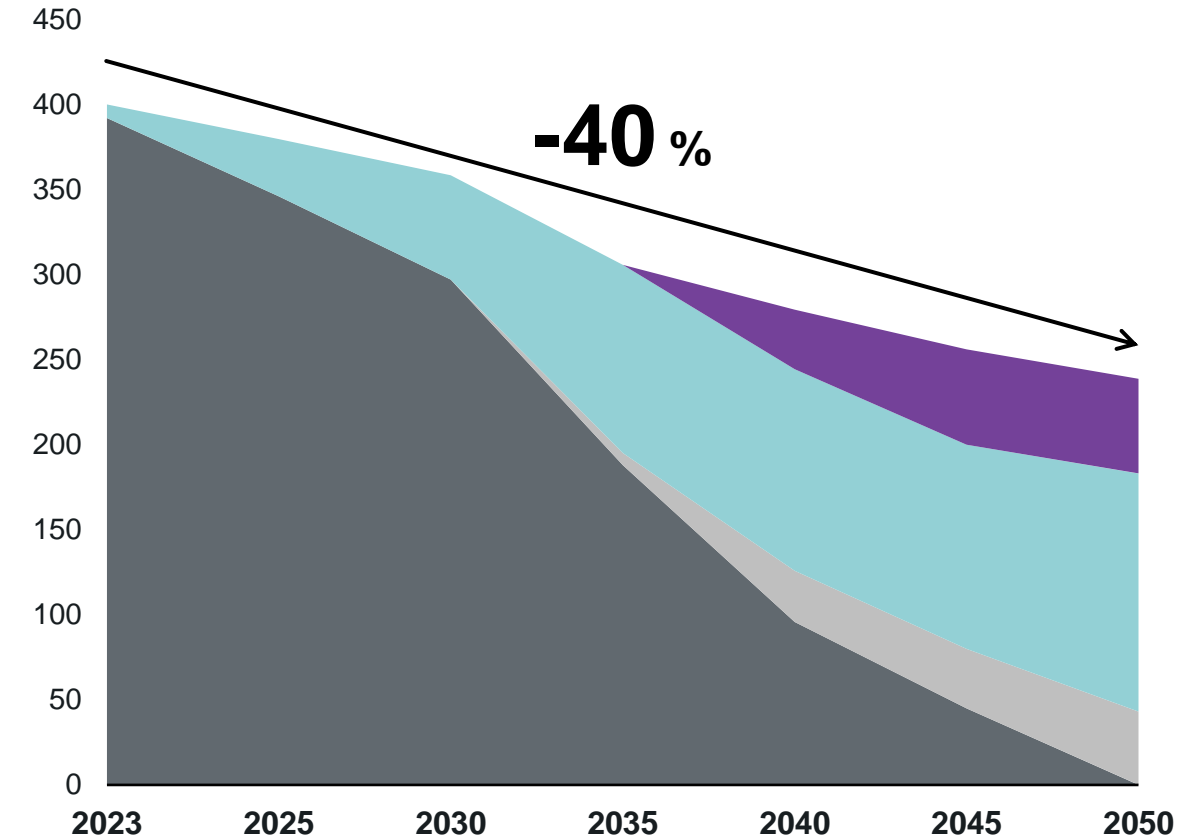
## Demande de méthane | Europe-15

TWh



## Demande de méthane | France

TWh

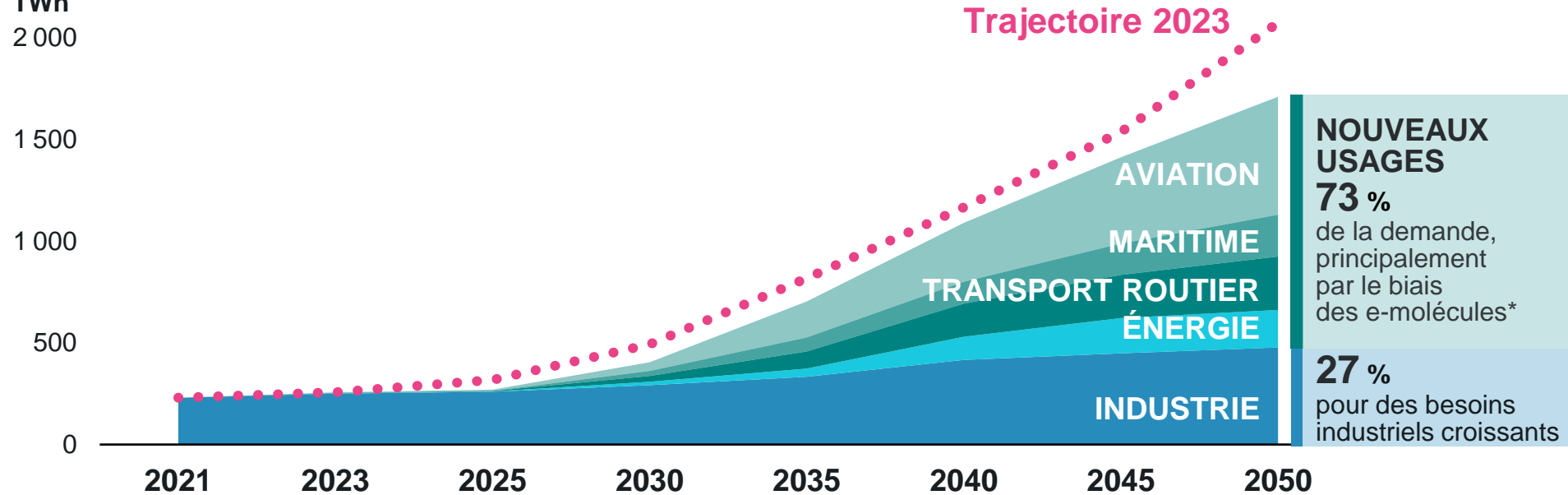


■ Gaz fossiles   ■ Gaz + CCS   ■ Biogaz & Biométhane   ■ E-méthane

# Le déploiement de l'hydrogène bas carbone est retardé et réduit par rapport à la trajectoire présentée en 2023

## Demande d'hydrogène | Europe-15

TWh  
2000



**NOUVEAUX USAGES**  
**73 %**  
de la demande, principalement par le biais des e-molécules\*

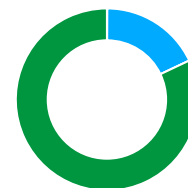
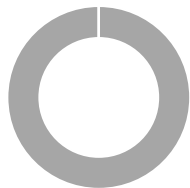
**27 %**  
pour des besoins industriels croissants

**x7** demande d'hydrogène et d'e-fuels décarbonés

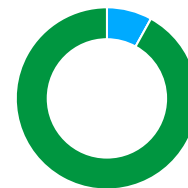
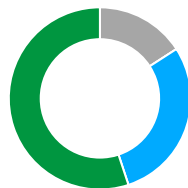
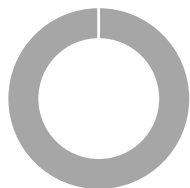
**70 %** produits en Europe-15

Importations hors-Europe-15 principalement par le biais des e-molécules

Trajectoire 2024



Trajectoire 2023



■ Gris  
■ Bleu  
■ Vert

# Réussir la transition énergétique de l'Europe

---

**1.** Méthodologie et indicateurs clés

**2.** Demande finale

**3.** Renouvelables et flexibilité

**4.** Molécules décarbonées

**5.** Coût de la transition

**6.** Trajectoire d'émissions

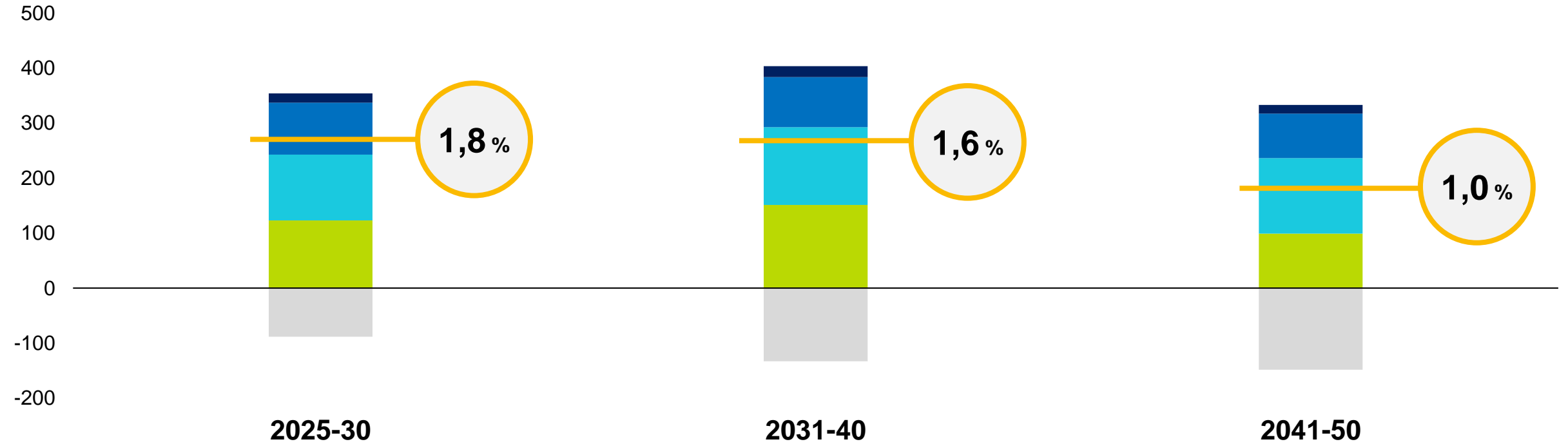
**7.** Risques

**8.** Synthèse et recommandations

# Les investissements nécessaires à la décarbonation de l'Europe sont partiellement compensés par les économies dans les combustibles fossiles

## Coûts et économies liés à la décarbonation | Europe-15

Md€/an



### INVESTISSEMENTS

- Production d'énergie et infrastructures bas carbone
- Flotte de transport et infrastructures de recharge
- Rénovation des bâtiments et solutions de chauffage
- Processus industriels

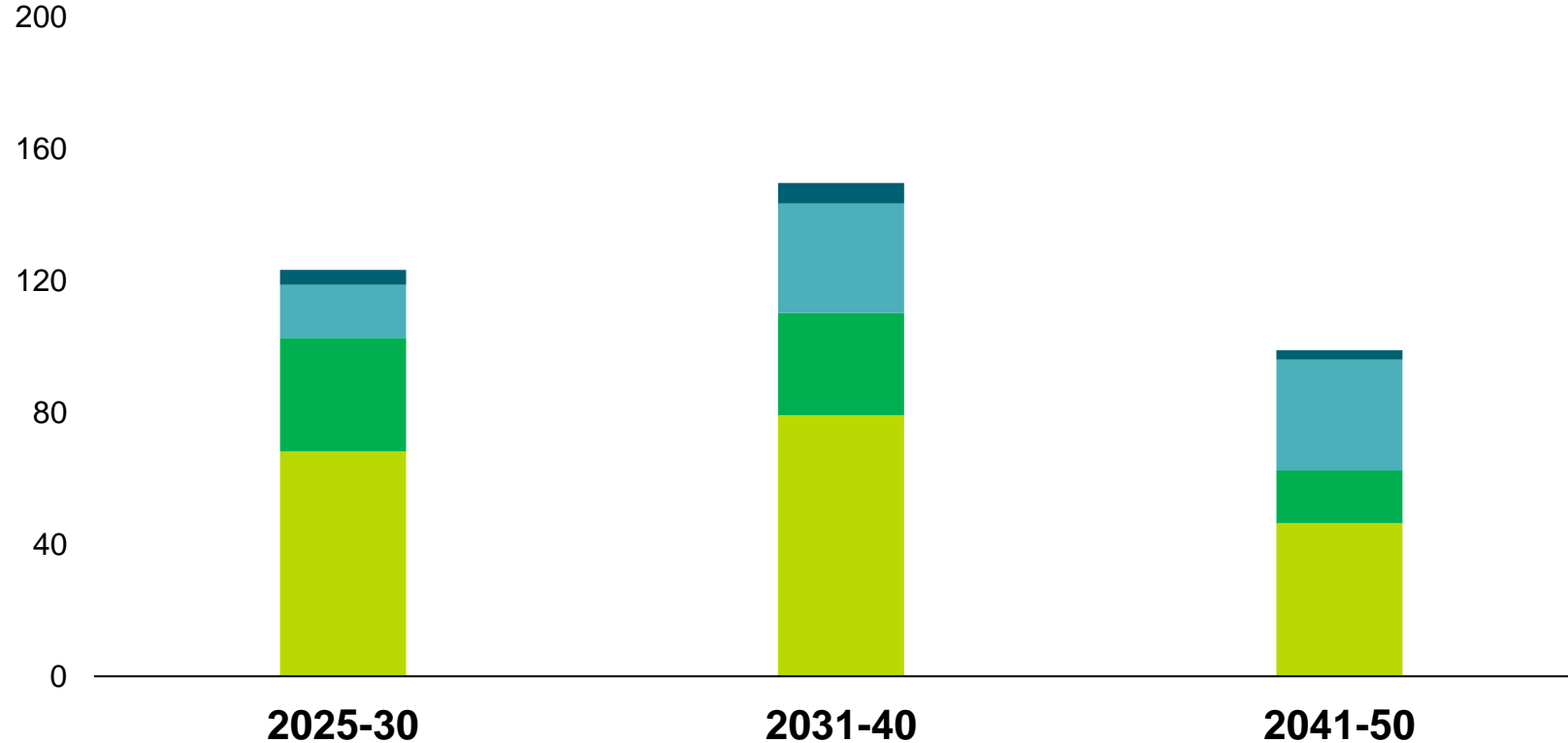
- Économies d'OPEX nettes
- Valeur nette

**X %** % du PIB

# La production d'électricité représente la majorité des coûts de décarbonation du secteur énergétique

## Investissements par vecteur énergétique | Europe-15

Md€/an



### MOLÉCULES

■ Infrastructures ■ Production

### ÉLECTRONS

■ Infrastructures ■ Production

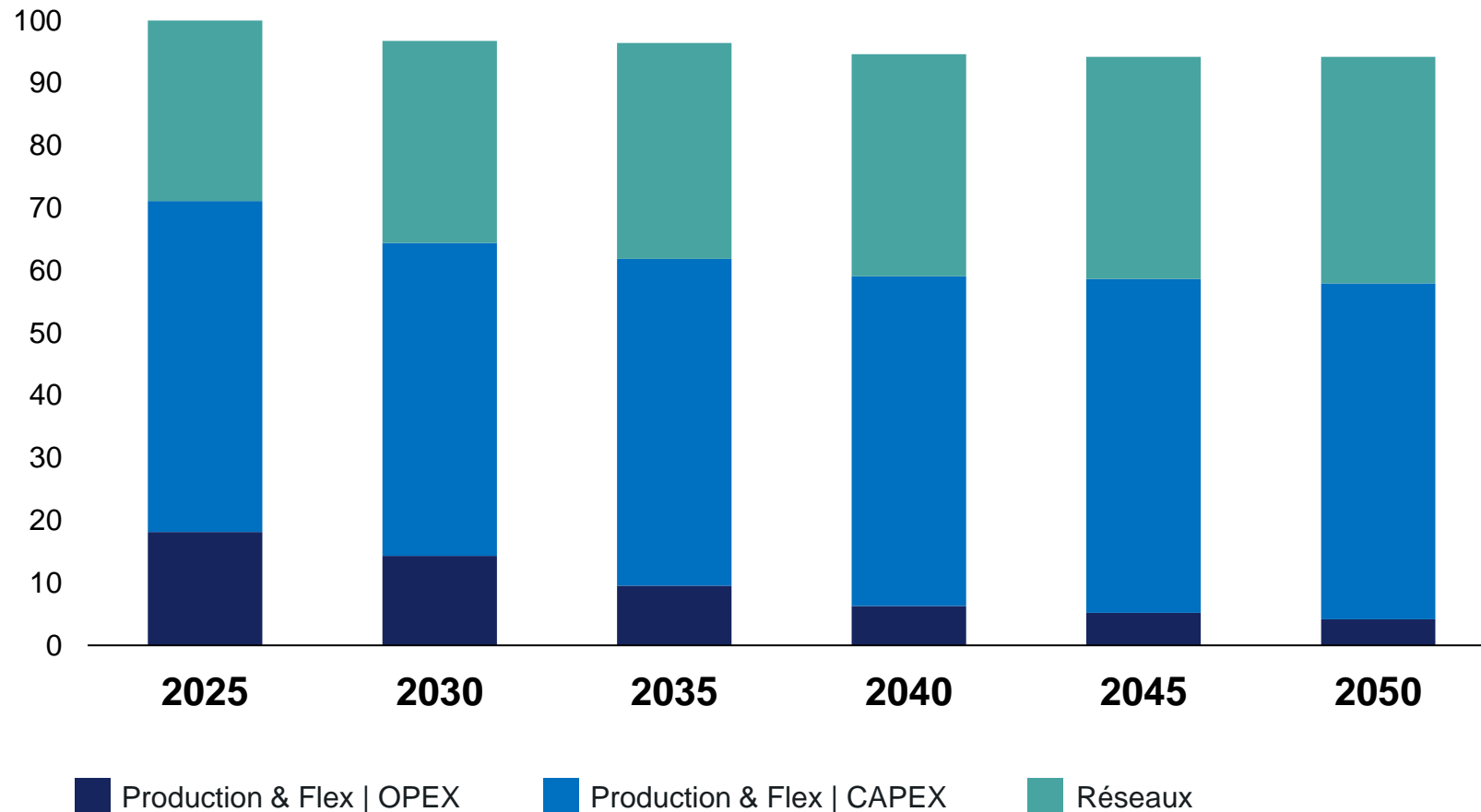
# 6x

Les investissements dans les infrastructures électriques vs gazières

# En dépit des investissements dans le secteur, le coût par mégawattheure reste stable en Europe

## Coût total du système électrique | Europe-15

Annualisé €/MWh, Indice 2025 = 100



# -10 %

Prix de gros moyens estimés en France, 2050 vs moyenne des prix 2023-24

# Réussir la transition énergétique de l'Europe

---

1. Méthodologie et indicateurs clés

2. Demande finale

3. Renouvelables et flexibilité

4. Molécules décarbonées

5. Coût de la transition

**6. Trajectoire d'émissions**

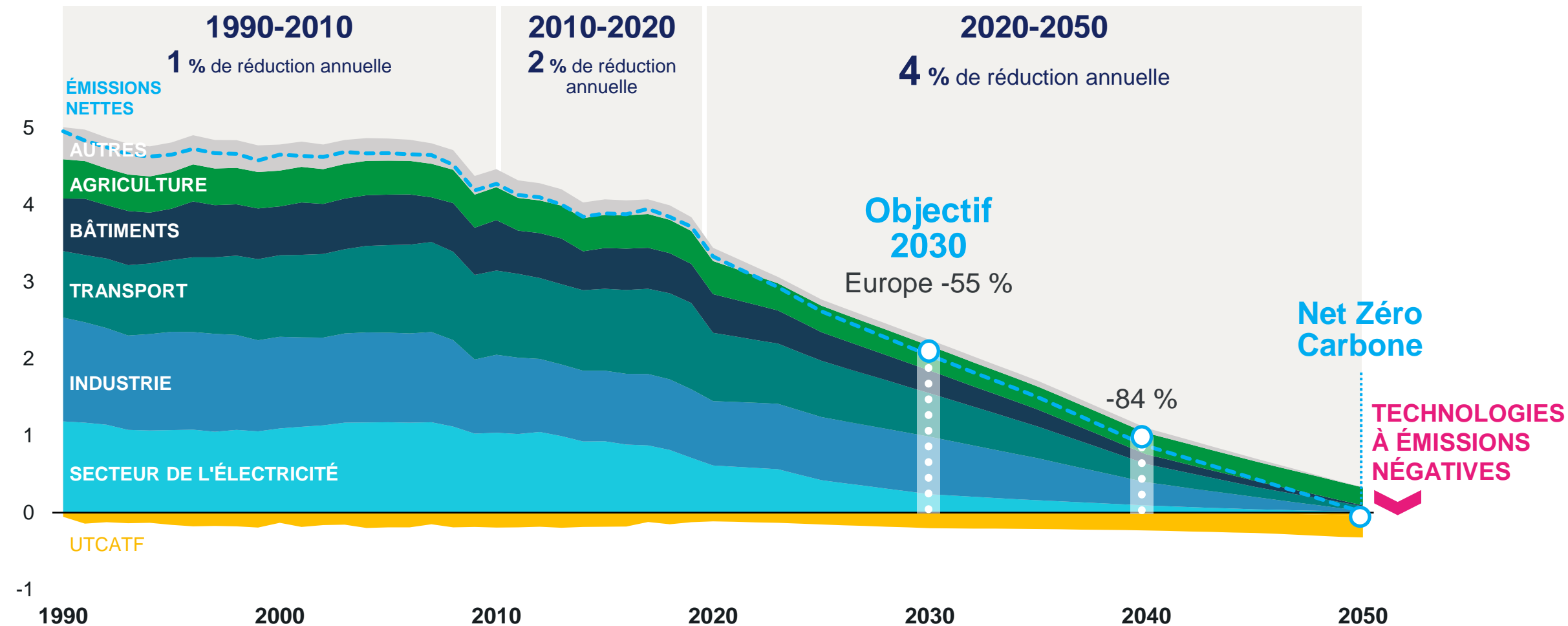
7. Risques

8. Synthèse et recommandations

# Tous les secteurs doivent accélérer la réduction de leurs émissions pour atteindre l'objectif Net Zéro de l'Europe

## Émissions de gaz à effet de serre | Europe-15

CO<sub>2</sub>e, Gt/an



# Réussir la transition énergétique de l'Europe

---

1. Méthodologie et indicateurs clés

2. Demande finale

3. Renouvelables et flexibilité

4. Molécules décarbonées

5. Coût de la transition

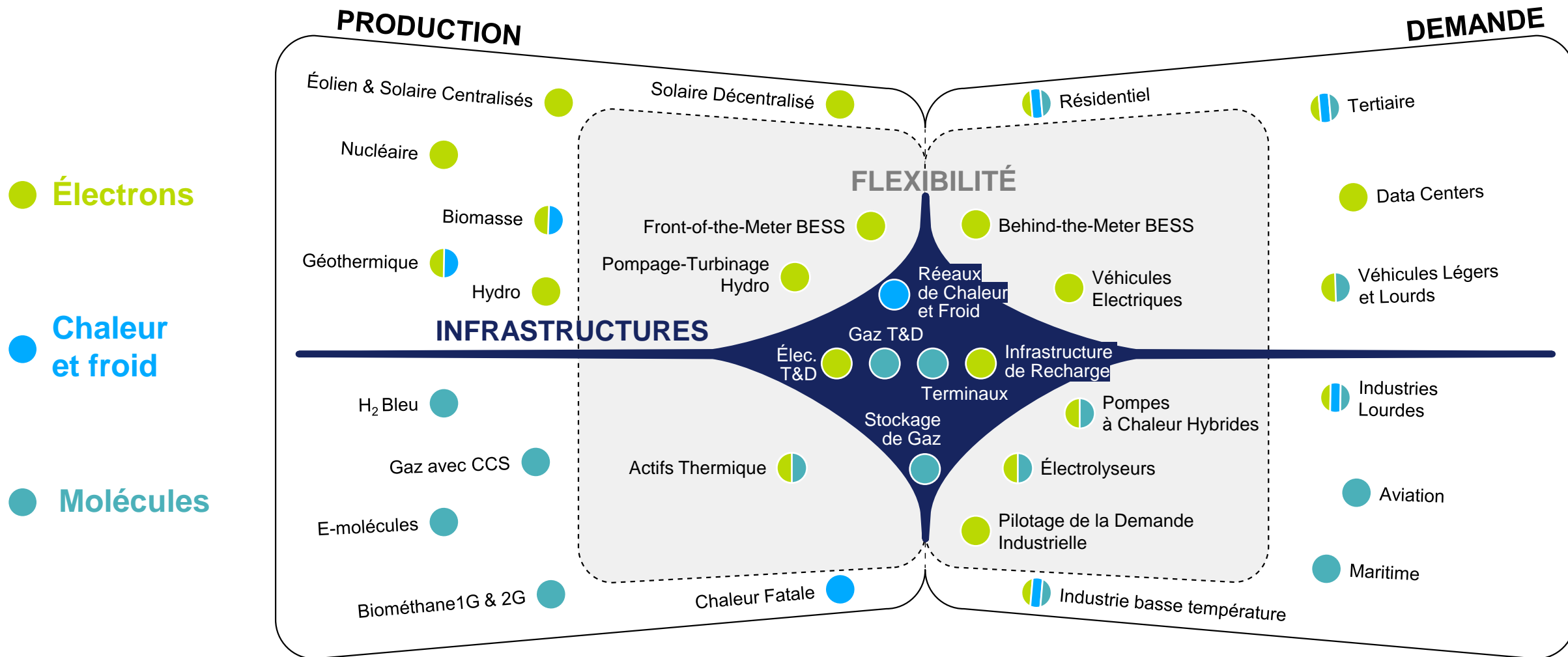
6. Trajectoire d'émissions

7. Risques

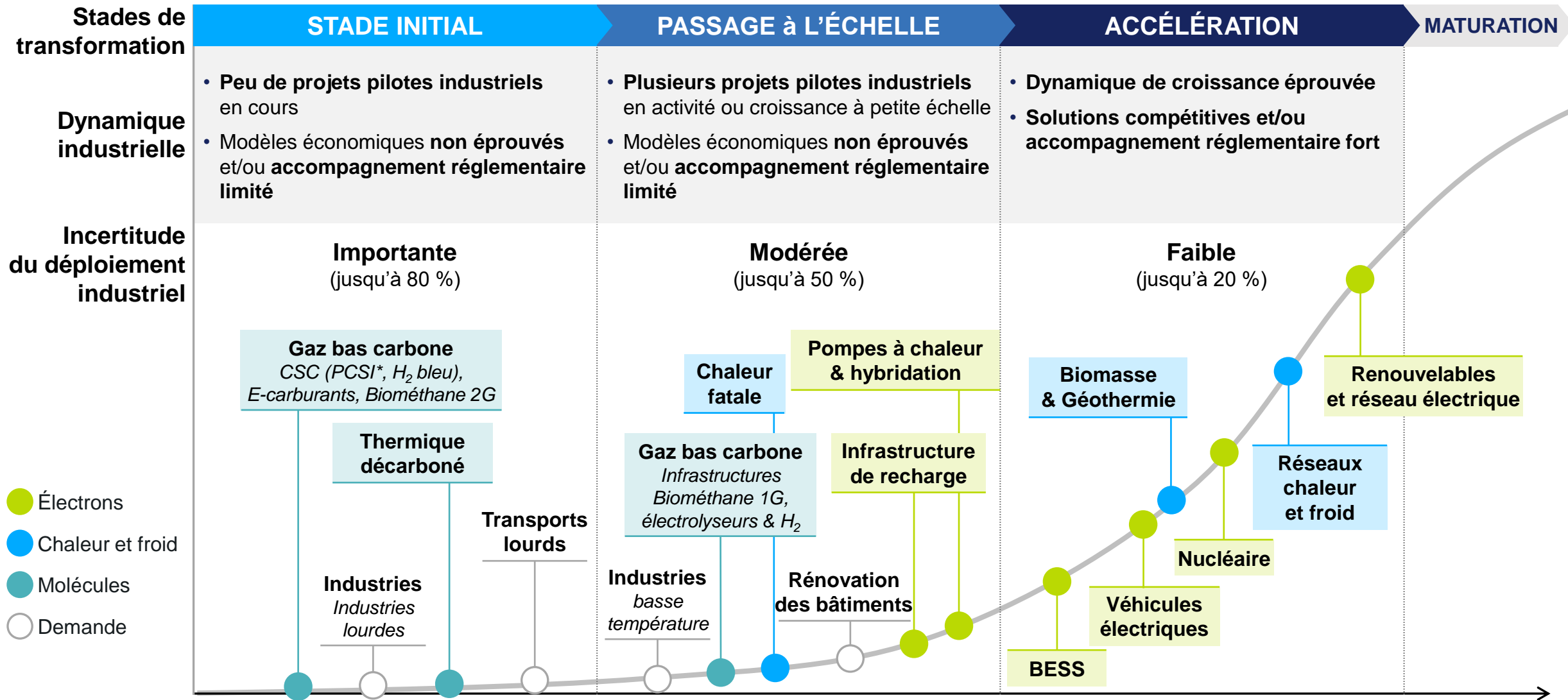
8. Synthèse et recommandations

# La transition nécessite la transformation de l'ensemble du système énergétique

## Composants du système énergétique européen en 2050

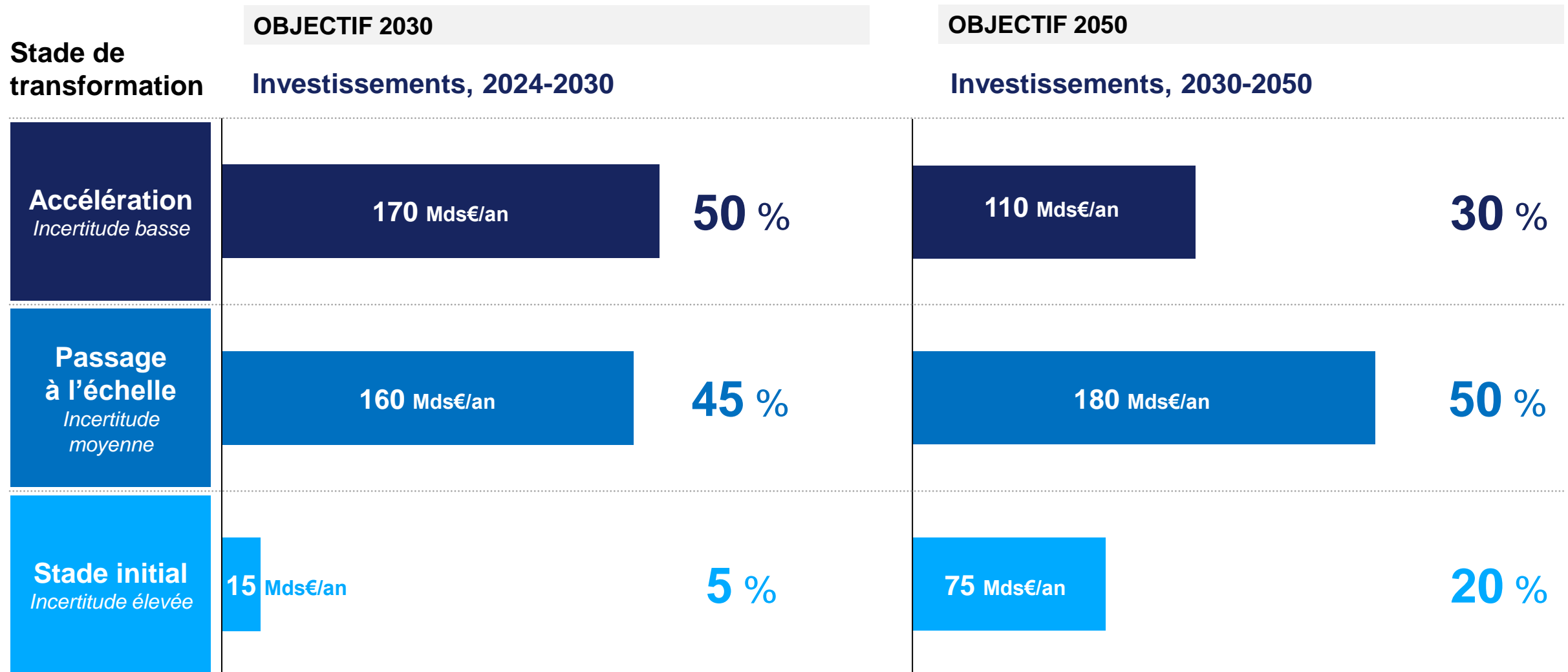


# Les composants du système énergétique Net Zéro de demain ne sont pas aujourd'hui au même stade de transformation



- Électrons
- Chaleur et froid
- Molécules
- Demande

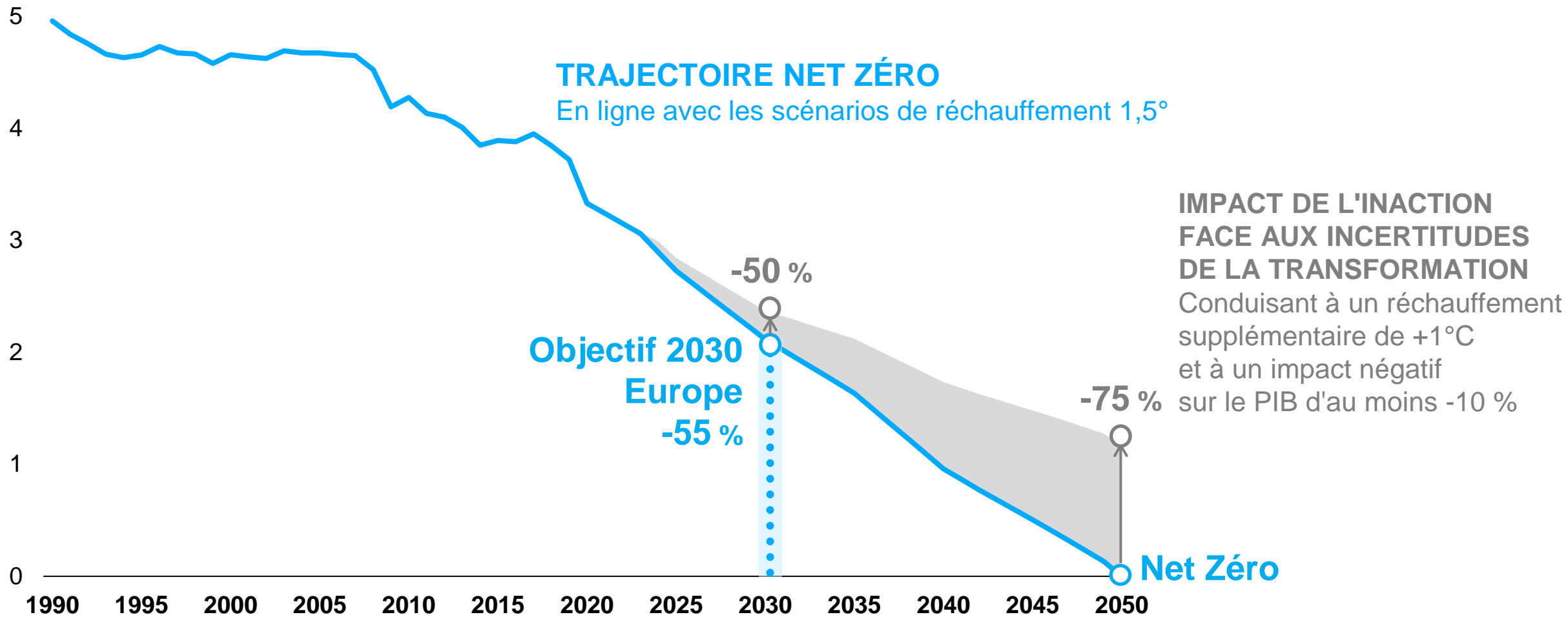
# L'atteinte des objectifs de décarbonation implique une bascule des investissements vers des technologies à des stades de transformation plus incertains



# Faute de développement des composantes du système énergétique les moins matures, l'Europe pourrait manquer ses objectifs

## Émissions nettes de gaz à effet de serre | Europe-15

CO<sub>2</sub>e, Gt / an



# Réussir la transition énergétique de l'Europe

---

1. Méthodologie et indicateurs clés

2. Demande finale

3. Renouvelables et flexibilité

4. Molécules décarbonées

5. Coût de la transition

6. Trajectoire d'émissions

7. Risques

**8. Synthèse et recommandations**

## En synthèse...

---

- **L'Europe s'est fixé des objectifs ambitieux de décarbonation qui restent atteignables**, mais cela nécessite une approche pragmatique qui tire parti de tous les leviers de la décarbonation, avec en premier lieu l'électrification, complétée par des gaz et de la chaleur décarbonés.
- La transition énergétique repose sur une **transformation profonde de l'ensemble du système énergétique**, de la production à la consommation, de l'électron à la molécule en passant par les infrastructures. Cependant, **les leviers du système énergétique de demain sont à des stades différents de développement**.
- **L'objectif 2030 de l'Europe est à notre portée**, car il repose en grande partie sur des leviers plus maîtrisés. Cependant il demande des efforts soutenus concernant le déploiement des énergies renouvelables, l'électrification des véhicules, et la rénovation des bâtiments.
- **L'objectif 2050 de l'Europe est plus menacé**, car il repose en grande partie sur des solutions à des stades de développement moins mature, et sur lesquels il est indispensable d'investir dès aujourd'hui.
- Les coûts de la décarbonation sont importants, mais ils **restent accessibles pour nos économies**, et sont à mettre en regard des enjeux et **du coût de l'inaction**.
- L'Europe doit prendre des **mesures fortes** pour s'assurer de l'atteinte des objectifs en 2030 et investir dans tous les leviers nécessaires pour atteindre l'objectif Net Zéro en 2050.

# 10 mesures fortes pour atteindre les objectifs de l'Europe

## TRANSVERSESES

1. Introduire un prix plancher du carbone qui augmentera au fil du temps
2. Optimiser le système énergétique à l'échelle européenne

## OFFRE

3. Continuer à soutenir la croissance rapide des énergies renouvelables en supprimant les goulets d'étranglement réglementaires et en facilitant les PPA / CfDs\* d'électricité verte transeuropéens
4. Définir les objectifs relatifs aux gaz décarbonés uniquement sur leur intensité carbone

## DEMANDE

5. Développer la demande à grande échelle pour les projets de gaz bas carbone dans les secteurs difficiles à décarboner
6. Exploiter pleinement le potentiel de la récupération de la chaleur fatale
7. Cibler les efforts de rénovation sur les bâtiments les plus inefficaces et les ménages à faibles revenus

## FLEXIBILITÉ

8. Valoriser pleinement la flexibilité de la demande en plus de la flexibilité de l'offre

## INFRASTRUCTURES

9. Anticiper le développement du réseau par les opérateurs d'infrastructures en amont du développement des projets d'énergies renouvelables, de stockage d'énergie par batterie, et d'hydrogène
10. Faciliter l'entrée de capitaux privés pour combler le déficit d'investissement dans les infrastructures énergétiques

# RÉUSSIR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DE L'EUROPE

Trajectoires de décarbonation de l'Europe  
Le scénario d'ENGIE

12 novembre 2024