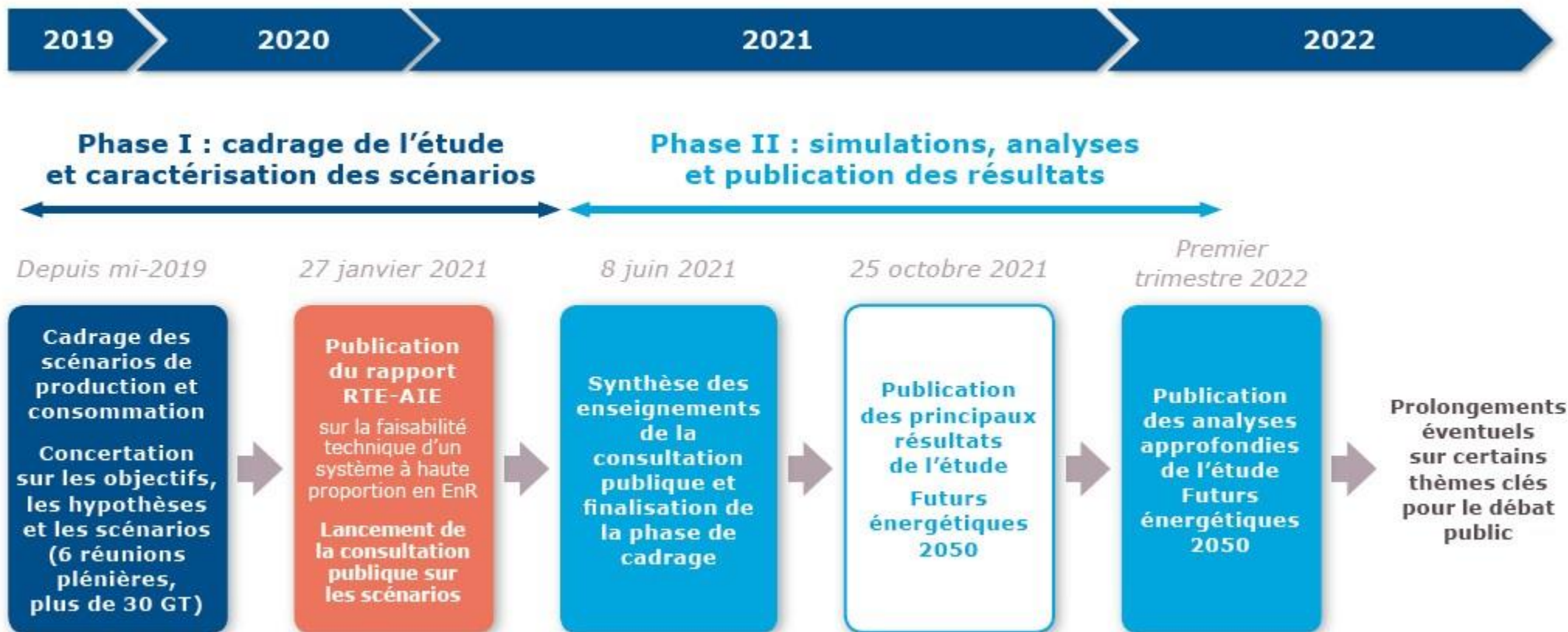


Futurs énergétiques 2050

IESF Ouest

3 mars 2022





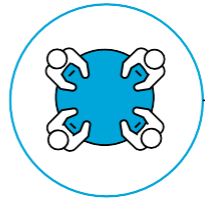
7 réunions plénières



9 groupes de travail



120 organisations représentées



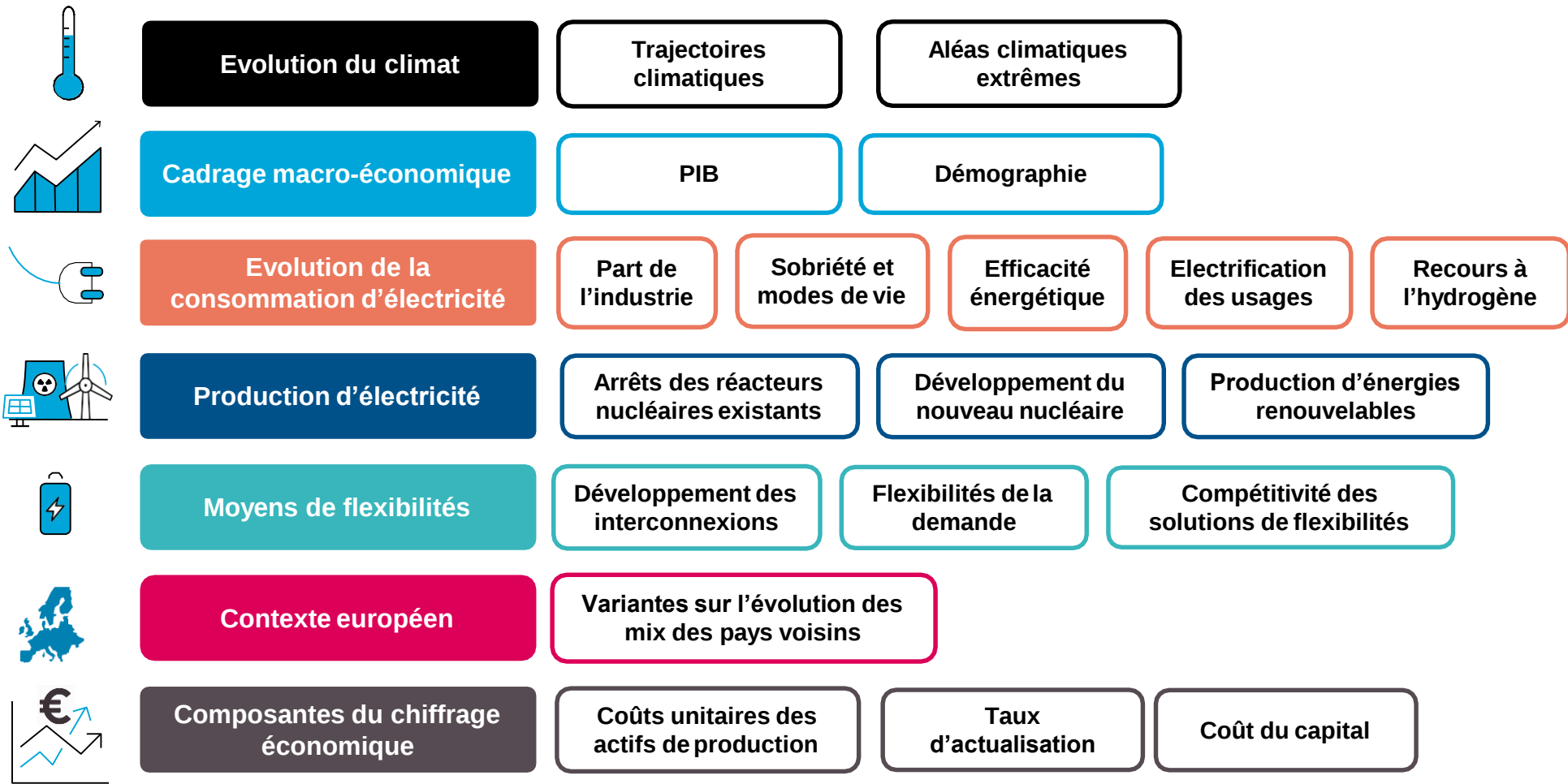
40 réunions techniques



1500 pages de documents de cadrage produits pendant la concertation



4000 réponses reçues à la consultation publique



Référence

RCP 4.5
GIEC

+ 1,3 %/an
A partir de 2030

69 M hbts
En 2050

Industrie manufacturière
10% du PIB

Dépend de chaque scénario

39 GW d'interconnexions

Transition réussie dans les pays voisins

Cout du capital
4% [1 – 7%]



1

Technique



- Description complète du système (production – réseau – consommation), en énergie et en puissance, en 2030, 40, 50, 60
- Projections avec les scénarios RCP 4.5 et 8.5 du GIEC et analyse de résilience avec stress-tests climatiques (canicule – sécheresse – grand froid – absence de vent en Europe continentale)

2

Économique



- Coût complet pour la collectivité
- Analyses de sensibilité aux différents paramètres, notamment le coût du capital
- Volet spécifique sur la faculté de chaque scénario à intégrer des perspectives de relocalisation/ réindustrialisation

3

Environnemental



- Empreinte carbone le long de la trajectoire, en intégrant le cycle de vie des matériels
- « Bilan matières » pour chaque scénario (en lien avec les enjeux de criticité)
- Occupation des sols (réseau + production)
- Volume de déchets et polluants

4

Sociétal



- Problématisation des implications sur les modes de vie et conditions de validité des scénarios (télétravail vs mobilité, consommation d'électricité, niveau de sobriété souhaité vs requis, niveau de flexibilité des usages)



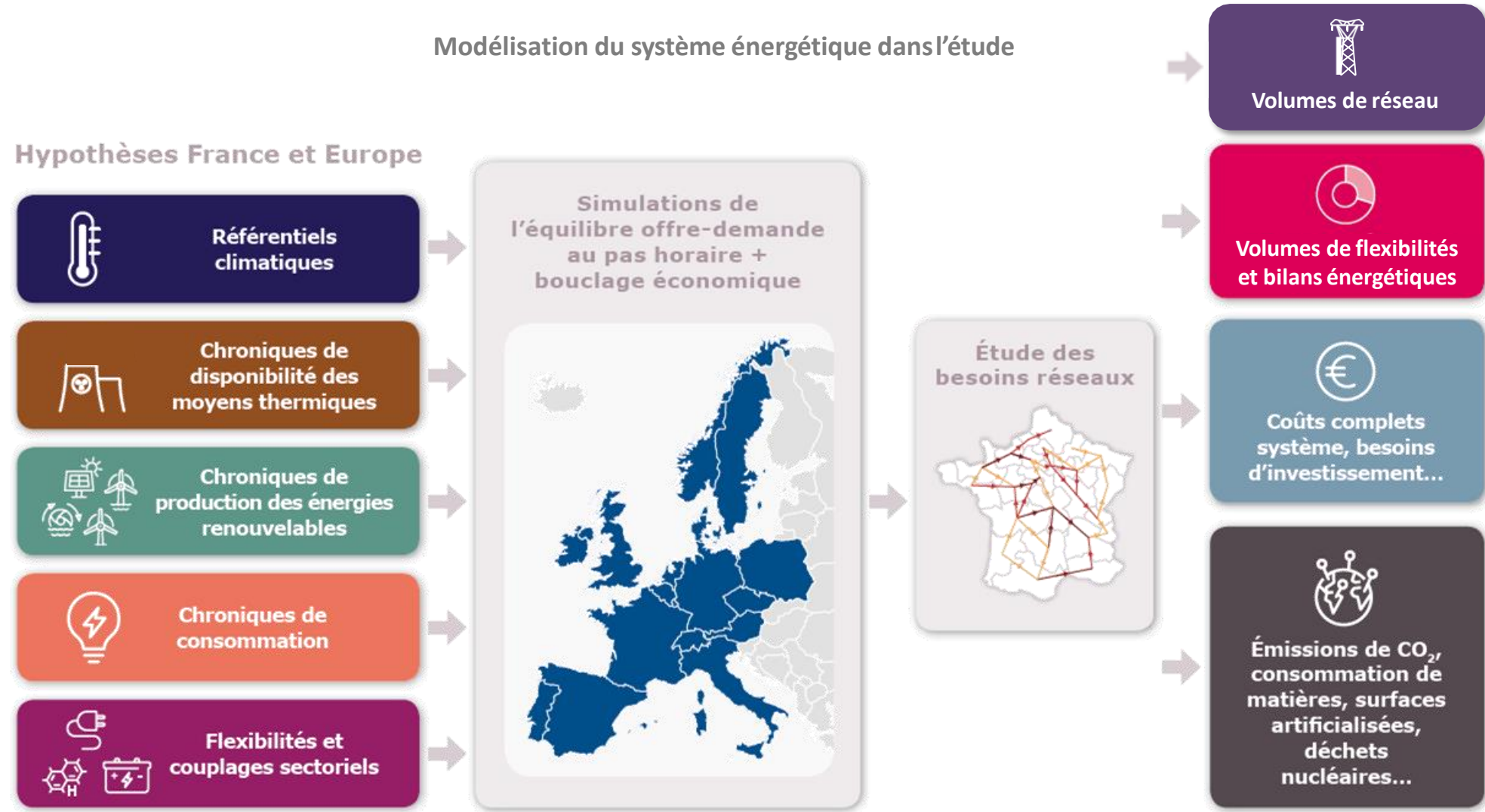
Les Futurs énergétiques 2050 ne se prononcent pas sur la désirabilité de ces dimensions



Un résumé exécutif

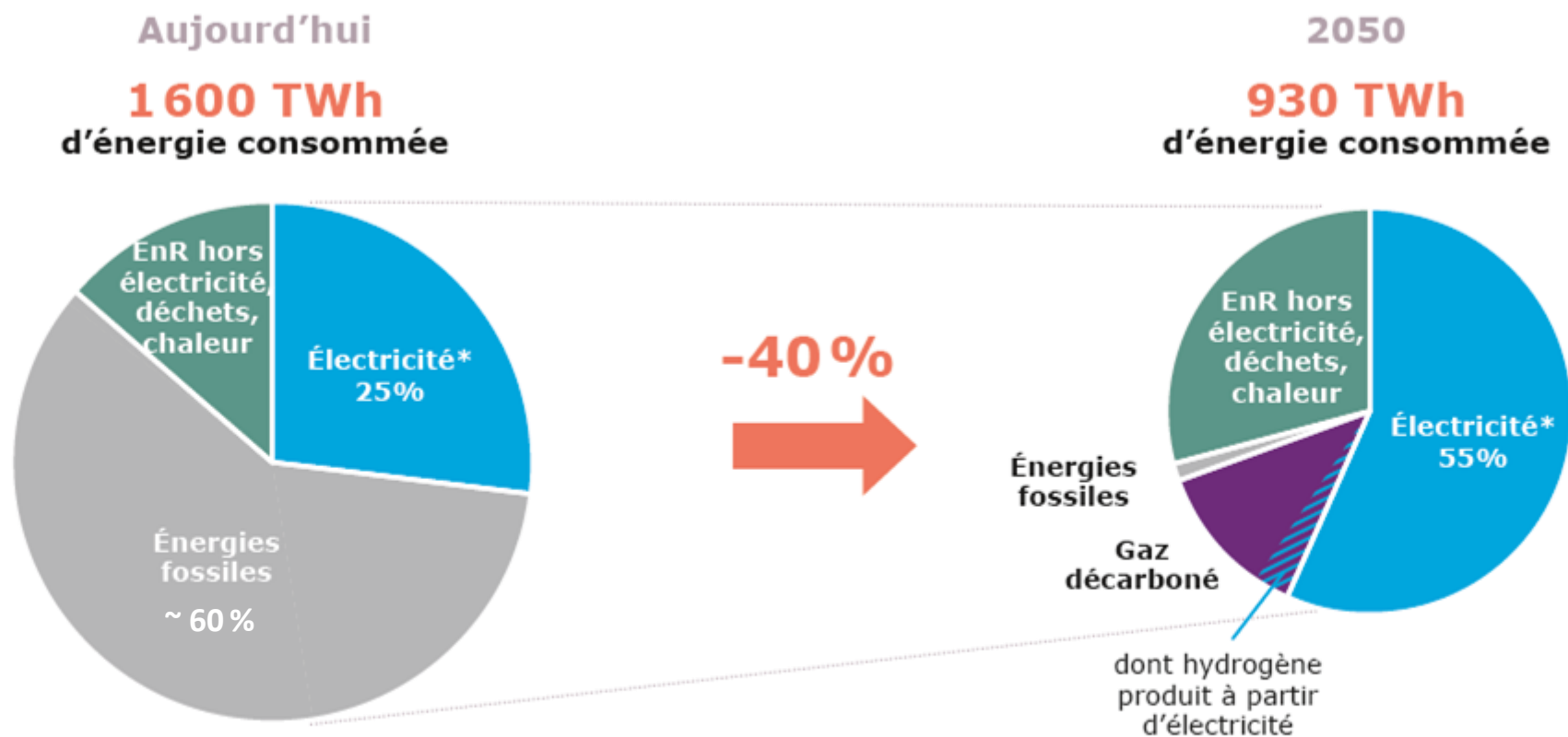


Un rapport de
présentation des
principaux résultats
(environ 650 pages)





Consommation d'énergie finale en France (SNBC)

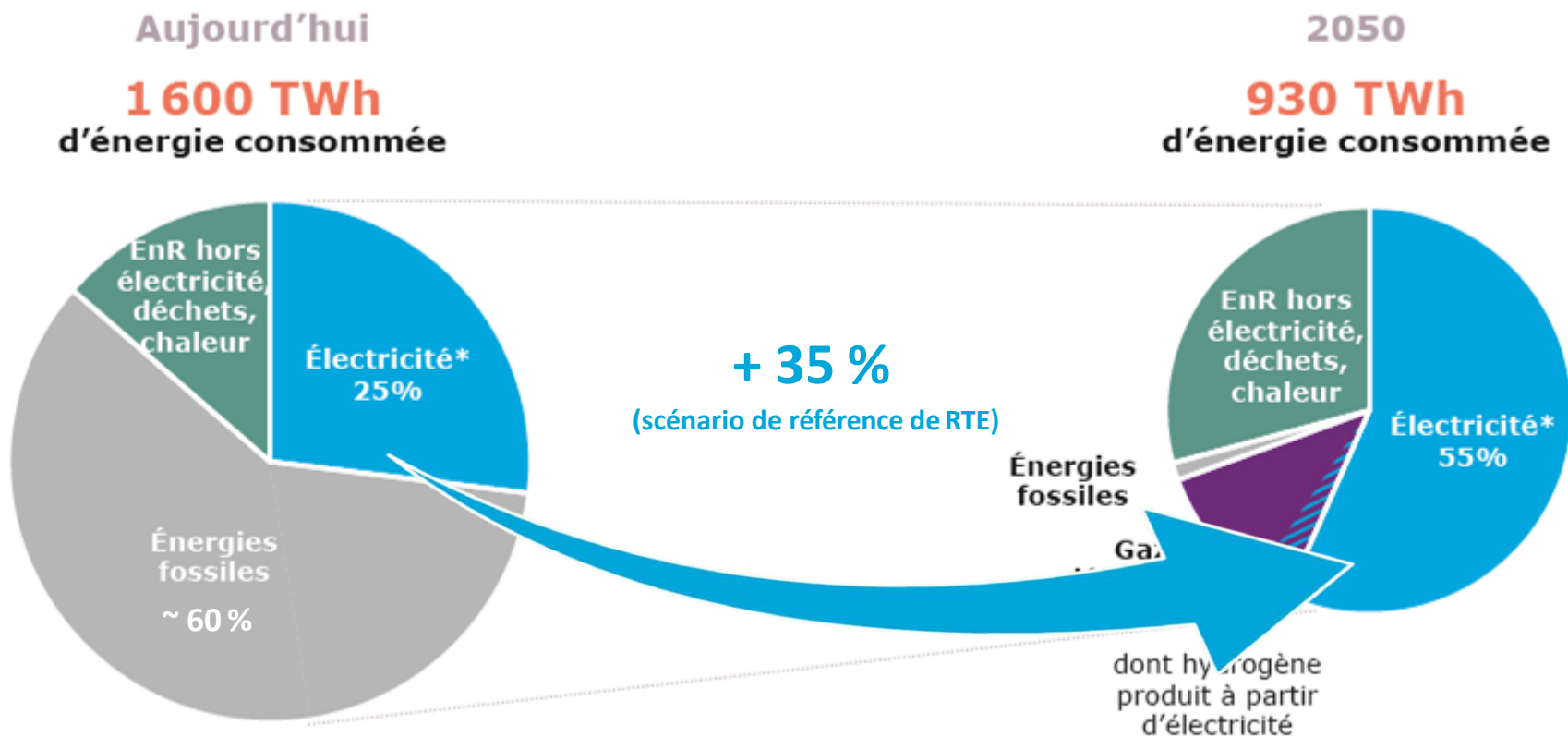


* Consommation finale d'électricité (hors pertes, hors consommation issue du secteur de l'énergie et hors consommation pour la production d'hydrogène)
Consommation finale d'électricité dans la trajectoire de référence de RTE = 645 TWh



Premier défi : augmenter la production d'électricité décarbonée

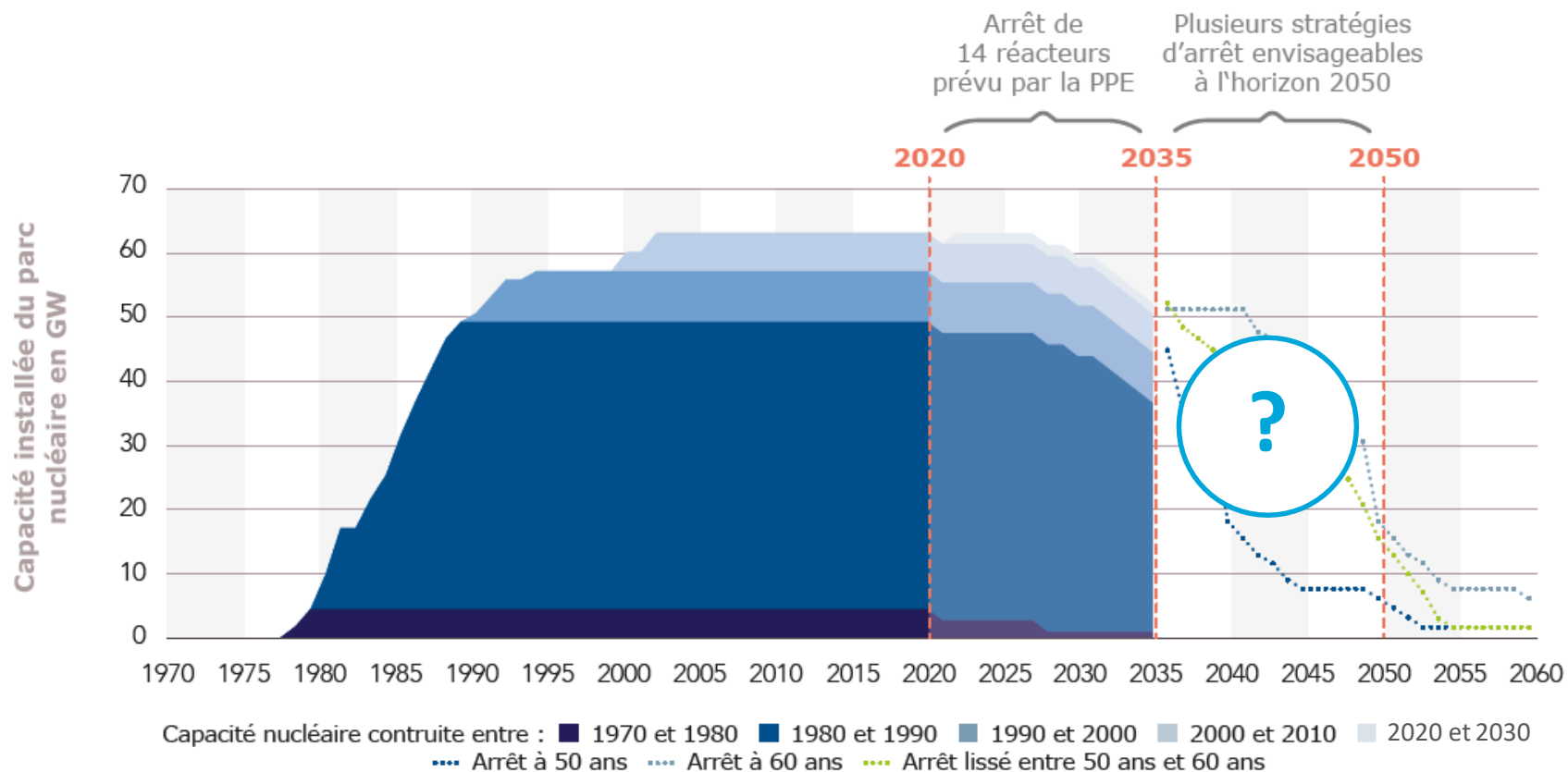
Consommation d'énergie finale en France (SNBC)



* Consommation finale d'électricité (hors pertes, hors consommation issue du secteur de l'énergie et hors consommation pour la production d'hydrogène)
Consommation finale d'électricité dans la trajectoire de référence de RTE = 645 TWh

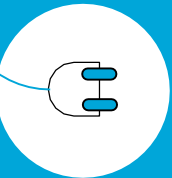


Second défi : remplacer le parc nucléaire de seconde génération

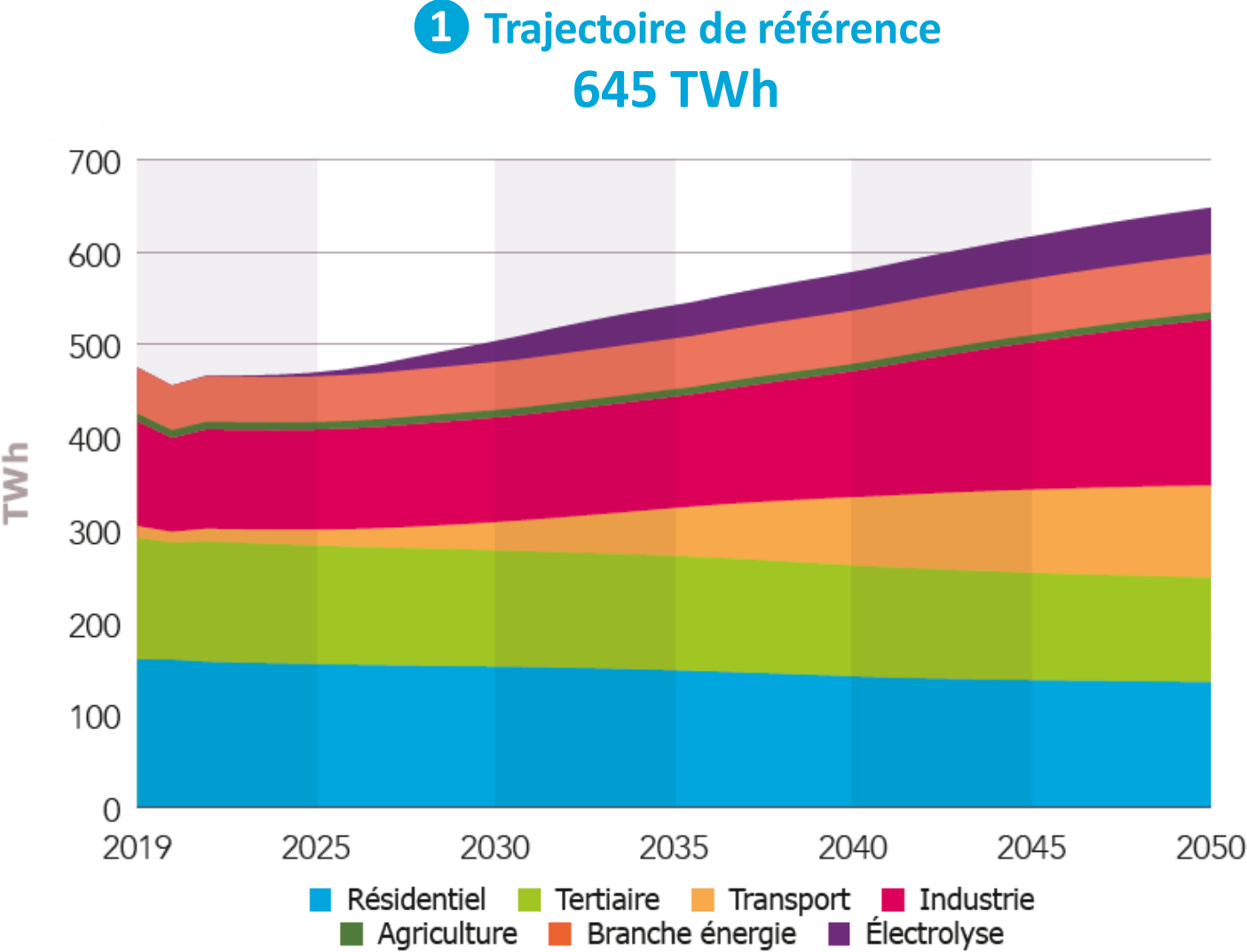


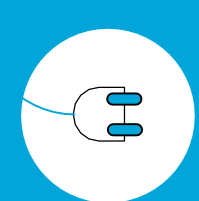
LA CONSOMMATION

Futurs énergétiques 2050



2 Scénario sobriété
555 TWh





1

Agir sur la consommation grâce à l'efficacité énergétique, voire la sobriété est indispensable pour atteindre les objectifs climatiques

2

La consommation d'énergie va baisser mais celle d'électricité va augmenter pour se substituer aux énergies fossiles

3

Accélérer la réindustrialisation du pays, en électrifiant les procédés, augmente la consommation d'électricité mais réduit l'empreinte carbone de la France

La transformation du mix

Futurs énergétiques 2050



M0

100 % EnR
en 2050

M1

EnR répartition
diffuse

M23

EnR grands parcs

N1

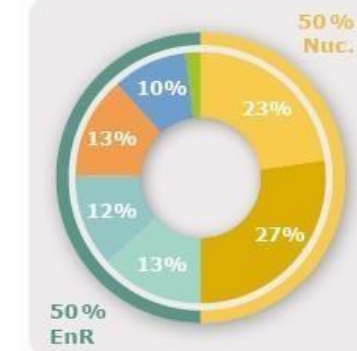
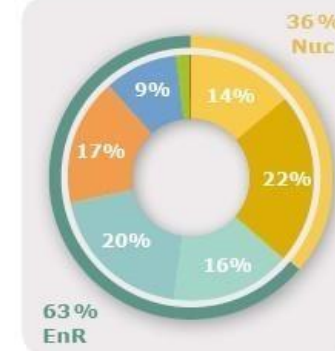
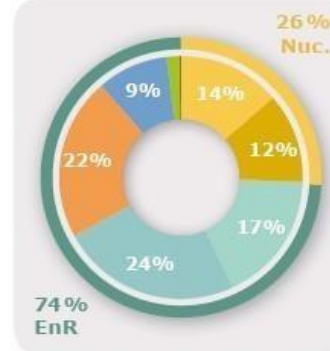
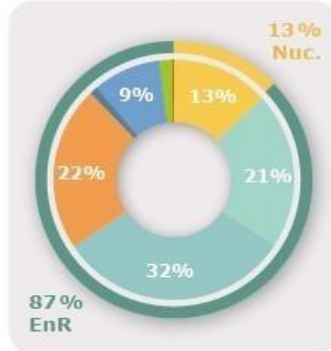
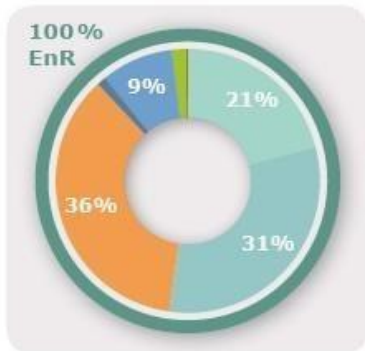
EnR + nouveau
nucléaire 1

N2

EnR + nouveau
nucléaire 2

N03

EnR + nouveau
nucléaire 3

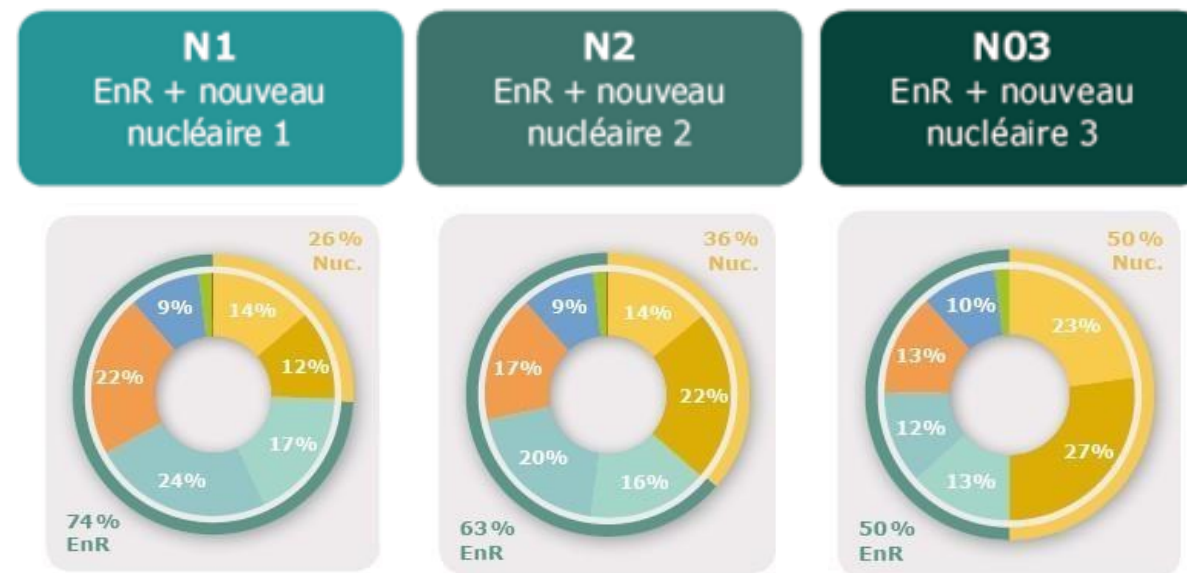


Les scénarios « M »

Sans nouveau nucléaire, atteinte du 100%
renouvelable en 2050 ou 2060

Les scénarios « N »

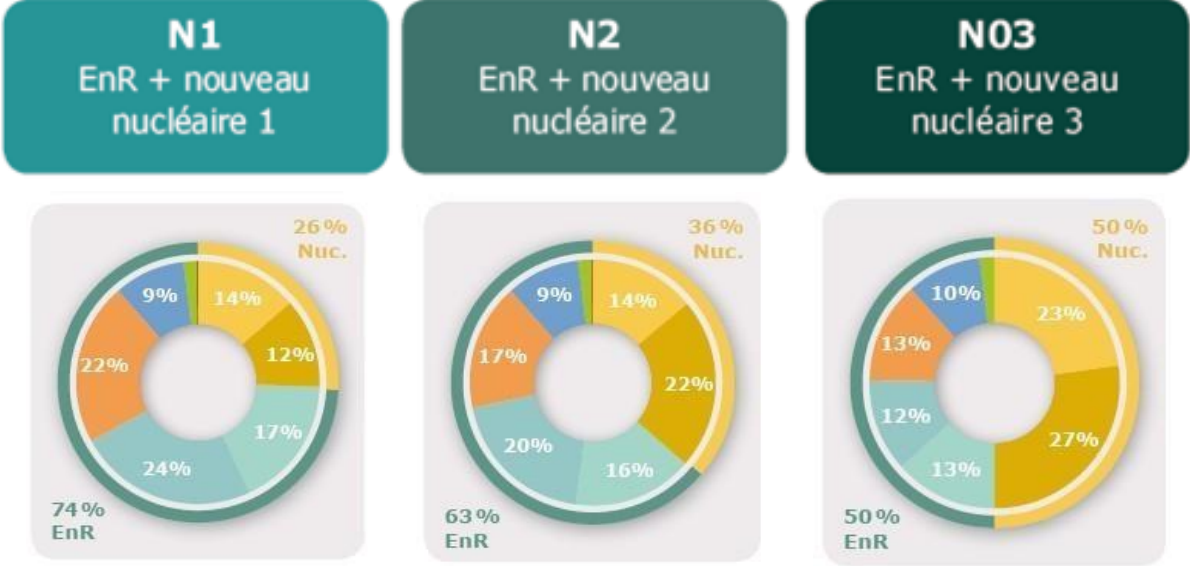
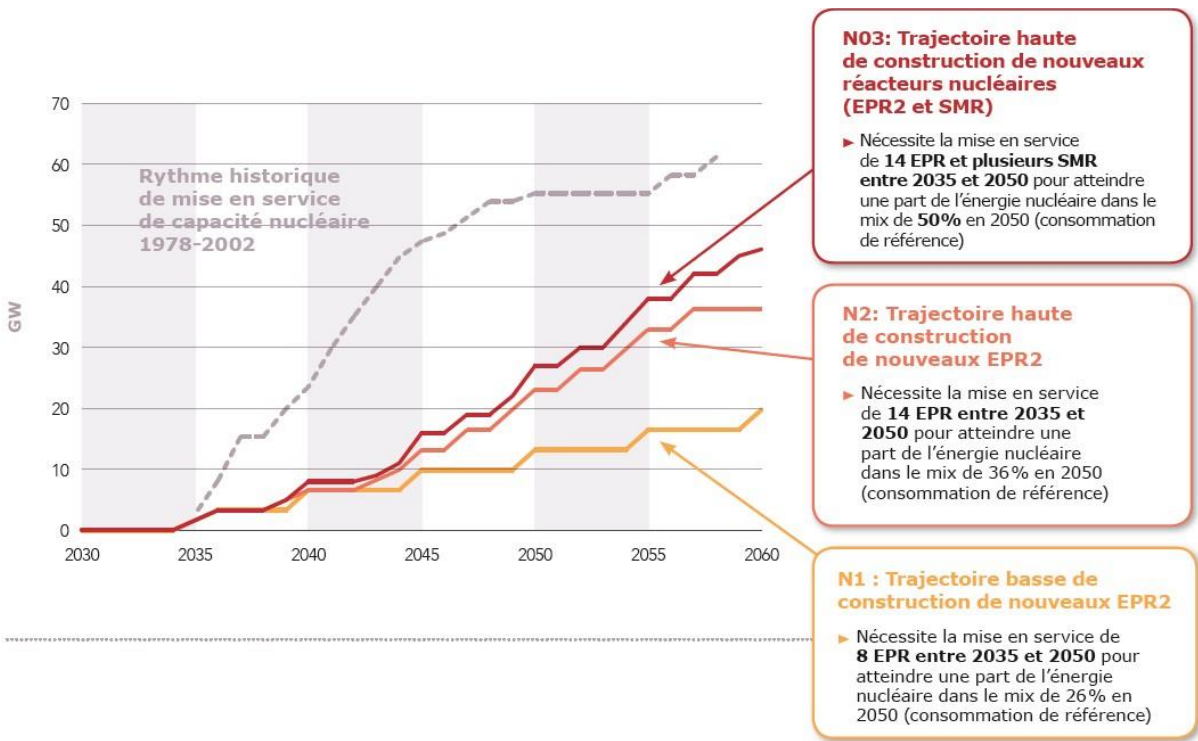
Avec nouveau nucléaire



Les scénarios « N »
Avec nouveau nucléaire



Trajectoires de développement de nouveaux réacteurs nucléaires envisagés dans l'étude



Les scénarios « N » Avec nouveau nucléaire



M0

100 % EnR
en 2050

M1

EnR répartition
diffuse

M23

EnR grands parcs

N1

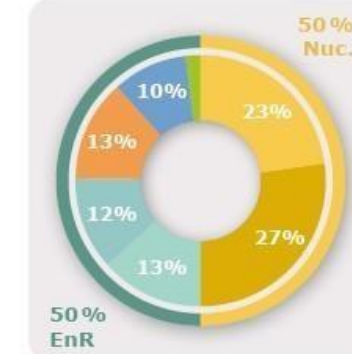
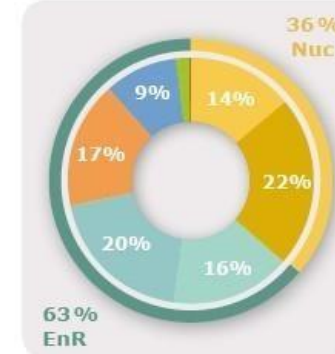
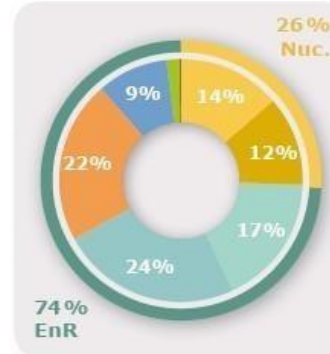
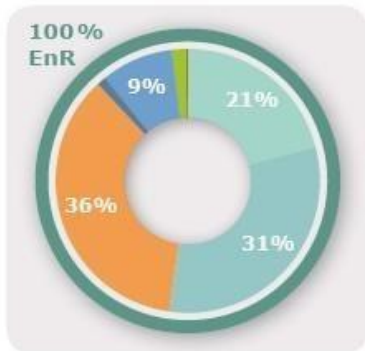
EnR + nouveau
nucléaire 1

N2

EnR + nouveau
nucléaire 2

N03

EnR + nouveau
nucléaire 3



Les scénarios « M »

Sans nouveau nucléaire, atteinte du 100%
renouvelable en 2050 ou 2060

Les scénarios « N »

Avec nouveau nucléaire



M0

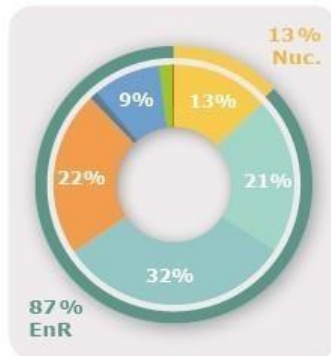
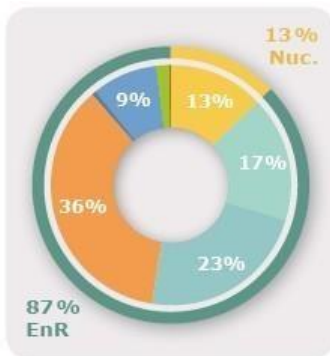
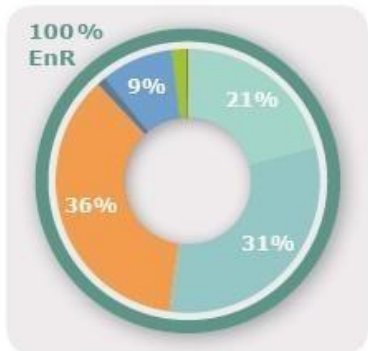
100 % EnR
en 2050

M1

EnR répartition
diffuse

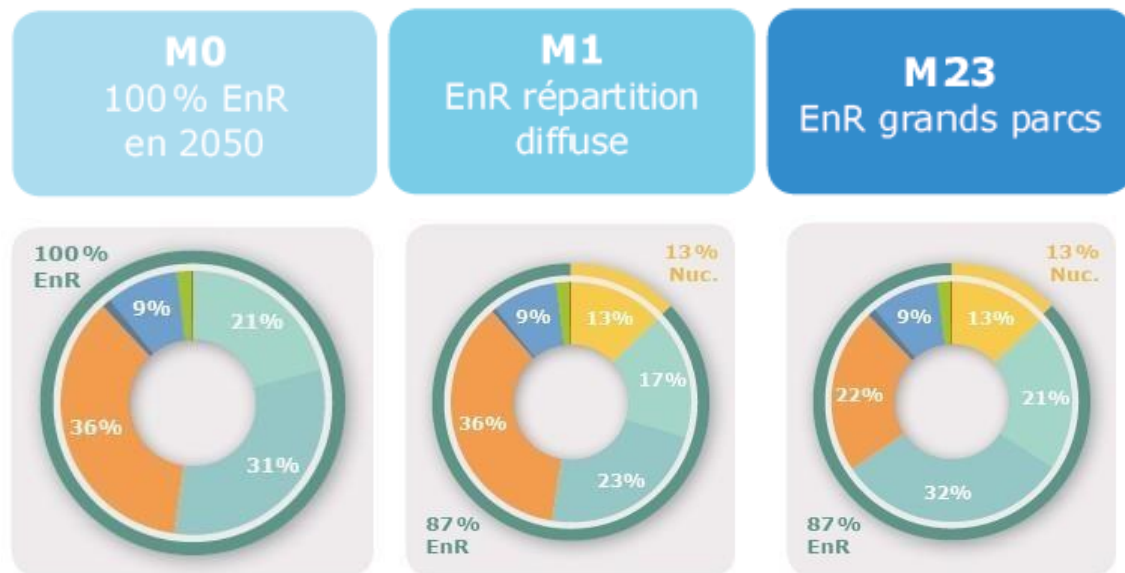
M23

EnR grands parcs



Les scénarios « M »

Sans nouveau nucléaire, atteinte du 100%
renouvelable en 2050 ou 2060

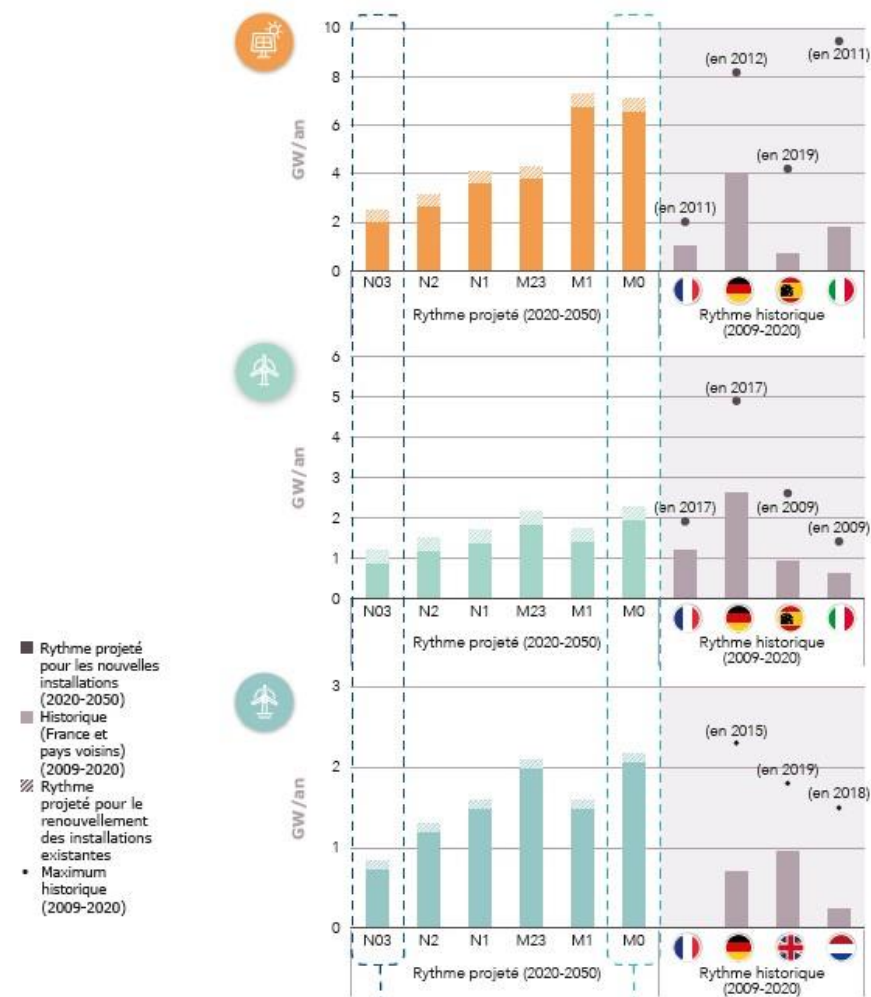


Les scénarios « M »

Sans nouveau nucléaire, atteinte du 100% renouvelable en 2050 ou 2060

3 mars 2022

Rythmes nécessaires de développement des énergies renouvelables



Rythmes nécessaires pour atteindre une part de 50% de renouvelables dans le mix en 2050 (trajectoire de consommation de référence) en supposant une trajectoire haute sur le nucléaire

Rythmes nécessaires pour atteindre 100% d'énergies renouvelables en 2050



4

Atteindre la neutralité carbone en 2050 est impossible sans un développement significatif des énergies renouvelables

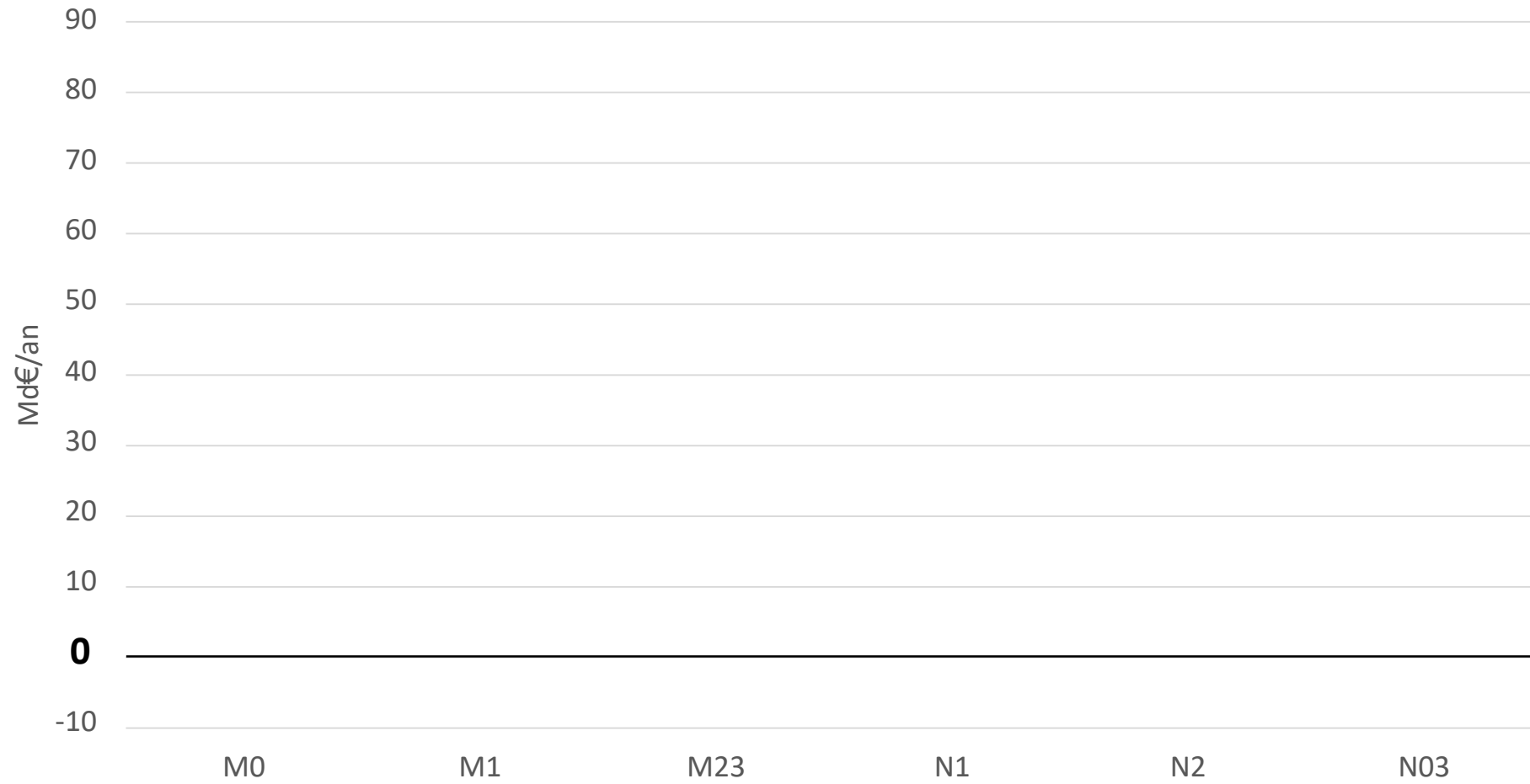
5

Se passer de nouveaux réacteurs nucléaires implique des rythmes de développement des énergies renouvelables plus rapides que ceux des pays européens les plus dynamiques

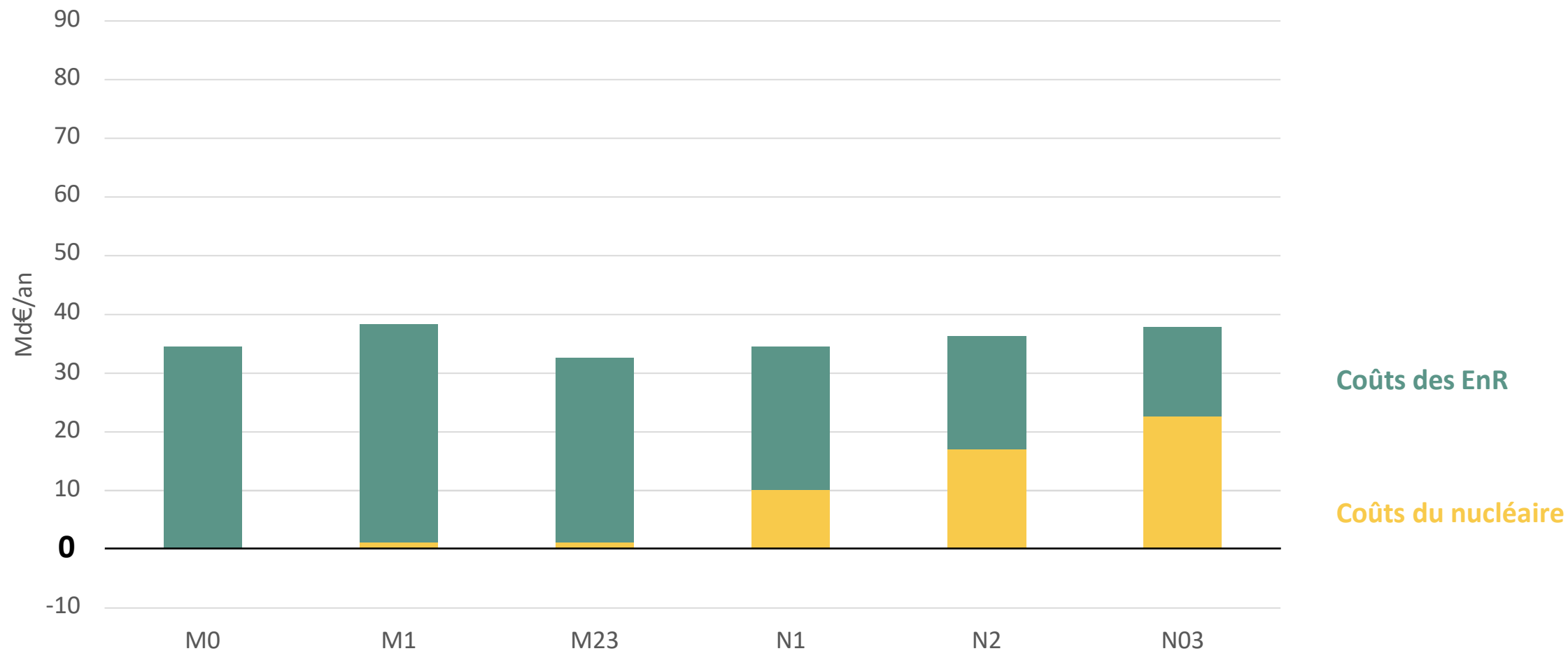
Economie

Futurs énergétiques 2050 - principaux enseignements

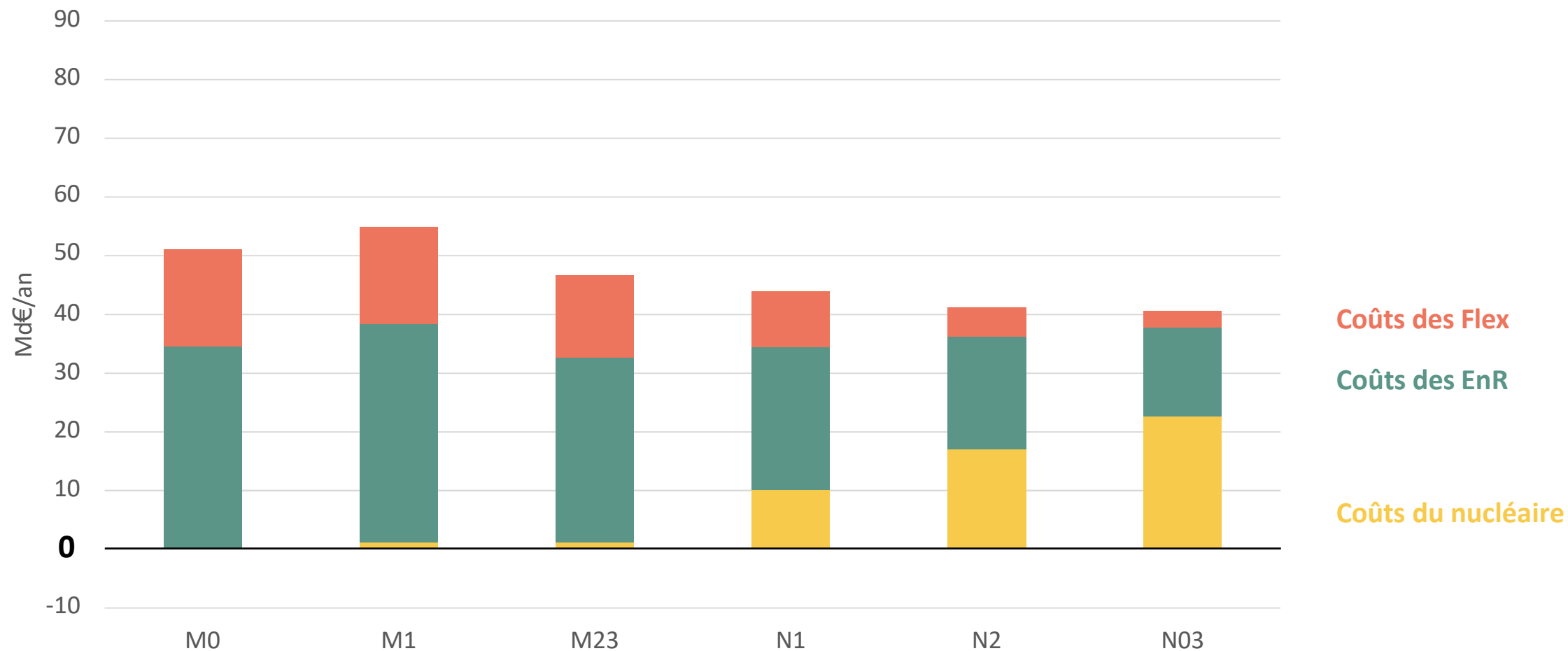
Coûts complets annualisés des scénarios à l'horizon 2060



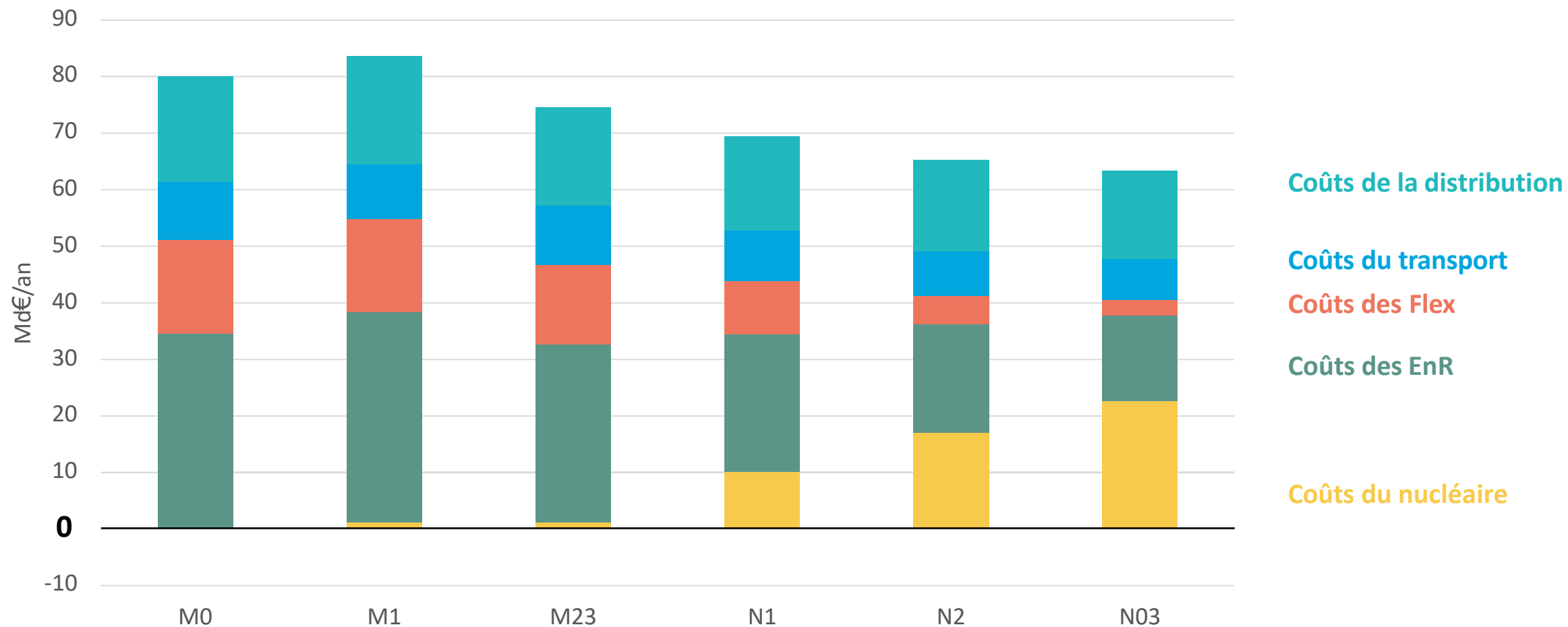
Coûts complets annualisés des scénarios à l'horizon 2060



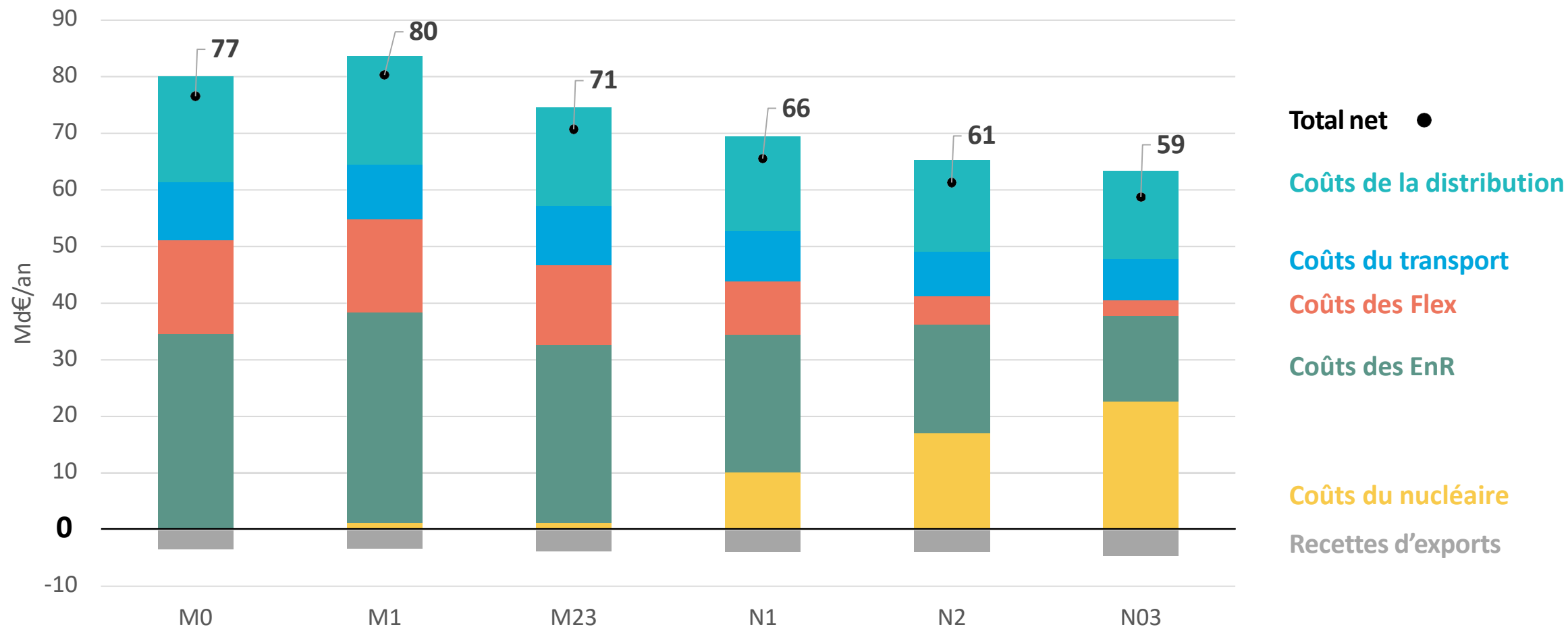
Coûts complets annualisés des scénarios à l'horizon 2060



Coûts complets annualisés des scénarios à l'horizon 2060



Coûts complets annualisés des scénarios à l'horizon 2060





6

Construire de nouveaux réacteurs nucléaires est pertinent du point de vue économique, *a fortiori* quand cela permet de conserver un parc d'une quarantaine de GW en 2050 (nucléaire existant et nouveau nucléaire)



6

Construire de nouveaux réacteurs nucléaires est pertinent du point de vue économique, *a fortiori* quand cela permet de conserver un parc d'une quarantaine de GW en 2050 (nucléaire existant et nouveau nucléaire)

7

Les énergies renouvelables électriques sont devenues des solutions compétitives. Cela est d'autant plus marqué dans le cas de grands parcs solaires et éoliens à terre et en mer



6

Construire de nouveaux réacteurs nucléaires est pertinent du point de vue économique, *a fortiori* quand cela permet de conserver un parc d'une quarantaine de GW en 2050 (nucléaire existant et nouveau nucléaire)

7

Les énergies renouvelables électriques sont devenues des solutions compétitives. Cela est d'autant plus marqué dans le cas de grands parcs solaires et éoliens à terre et en mer

8

Les moyens de pilotage dont le système a besoin pour garantir la sécurité d'approvisionnement sont très différents selon les scénarios. Il existe un intérêt économique à accroître le pilotage de la consommation, à développer des interconnexions et le stockage hydraulique, ainsi qu'à installer des batteries pour accompagner le solaire. Au-delà, le besoin de construire de nouvelles centrales thermiques assises sur des stocks de gaz décarbonés (dont l'hydrogène) est important si la relance du nucléaire est minimale et il devient massif – donc coûteux – si l'on tend vers 100% renouvelables.



6

Construire de nouveaux réacteurs nucléaires est pertinent du point de vue économique, *a fortiori* quand cela permet de conserver un parc d'une quarantaine de GW en 2050 (nucléaire existant et nouveau nucléaire)

7

Les énergies renouvelables électriques sont devenues des solutions compétitives. Cela est d'autant plus marqué dans le cas de grands parcs solaires et éoliens à terre et en mer

8

Les moyens de pilotage dont le système a besoin pour garantir la sécurité d'approvisionnement sont très différents selon les scénarios. Il existe un intérêt économique à accroître le pilotage de la consommation, à développer des interconnexions et le stockage hydraulique, ainsi qu'à installer des batteries pour accompagner le solaire. Au-delà, le besoin de construire de nouvelles centrales thermiques assises sur des stocks de gaz décarbonés (dont l'hydrogène) est important si la relance du nucléaire est minimale et il devient massif – donc coûteux – si l'on tend vers 100% renouvelables.

9

Dans tous les scénarios, les réseaux électriques doivent être rapidement redimensionnés pour rendre possible la transition énergétique



16

Pour 2050 : le système électrique de la neutralité carbone peut être atteint à un coût maîtrisable pour la France

Systeme et technologies

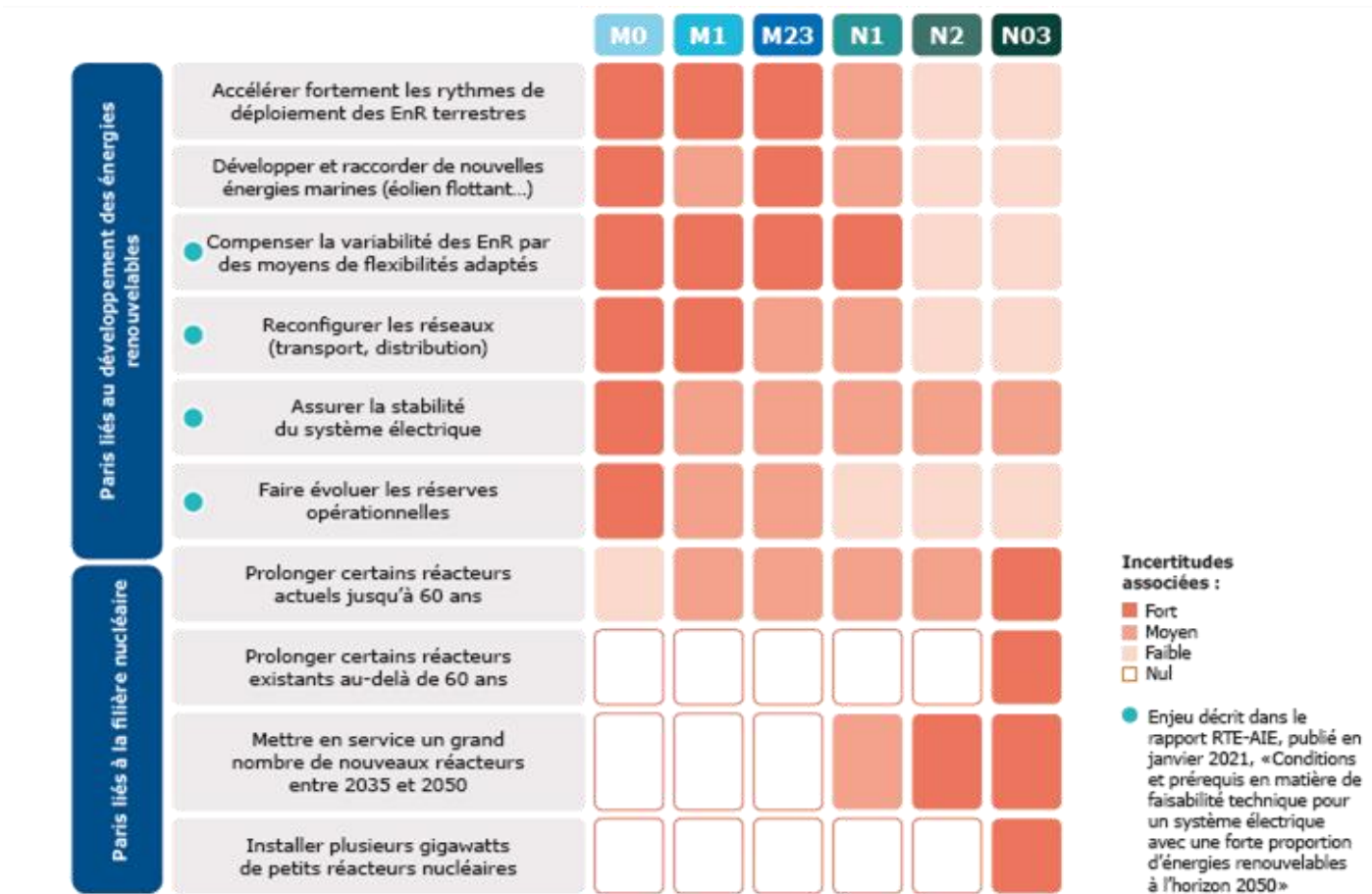
Futurs énergétiques 2050 - principaux enseignements



11

Les scénarios à très hautes parts d'énergies renouvelables, ou celui nécessitant la prolongation des réacteurs nucléaires existants au-delà de 60 ans, impliquent des paris technologiques lourds pour être au rendez-vous de la neutralité carbone en 2050

Prérequis technologiques et industriels associés aux différents scénarios et incertitudes

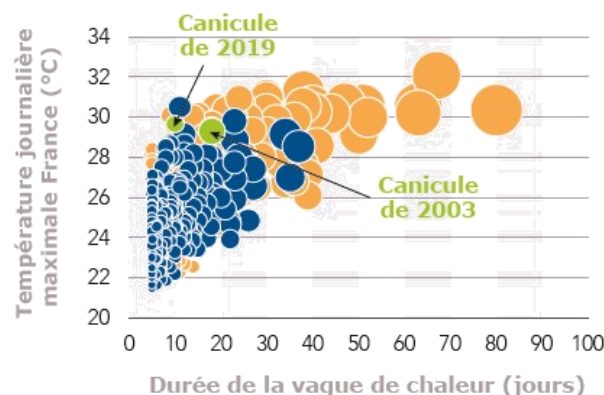




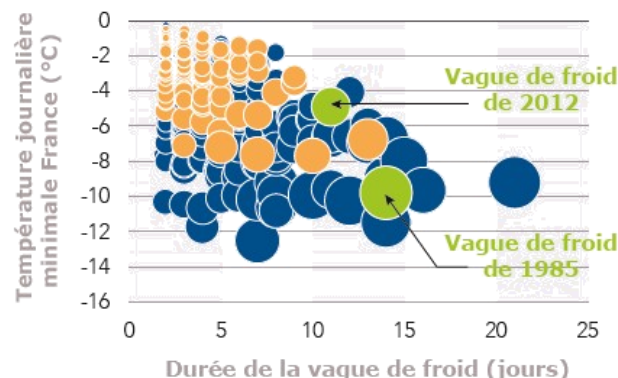
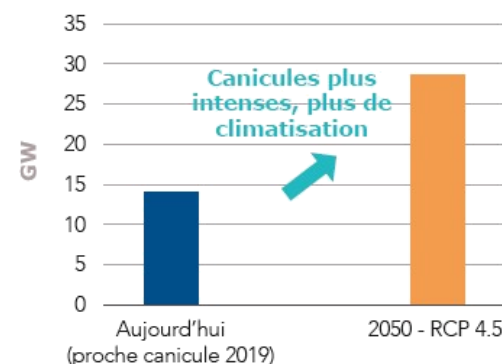
12

La transformation du système électrique doit intégrer dès à présent les conséquences probables du changement climatique, notamment sur les ressources en eau, les vagues de chaleur ou les régimes de vent

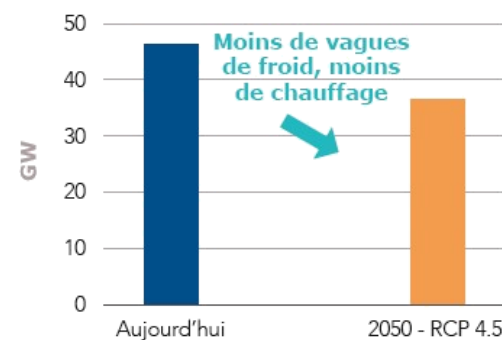
Prérequis technologiques et industriels associés aux différents scénarios et incertitudes



Consommation maximale des appareils de climatisation à la pointe (à une chance sur 10)



Consommation maximale des installations de chauffage à la pointe (à une chance sur 10)



● Climat 2050 - RCP 4.5 ● Climat 2000 ● Références historiques

Espace et Environnement

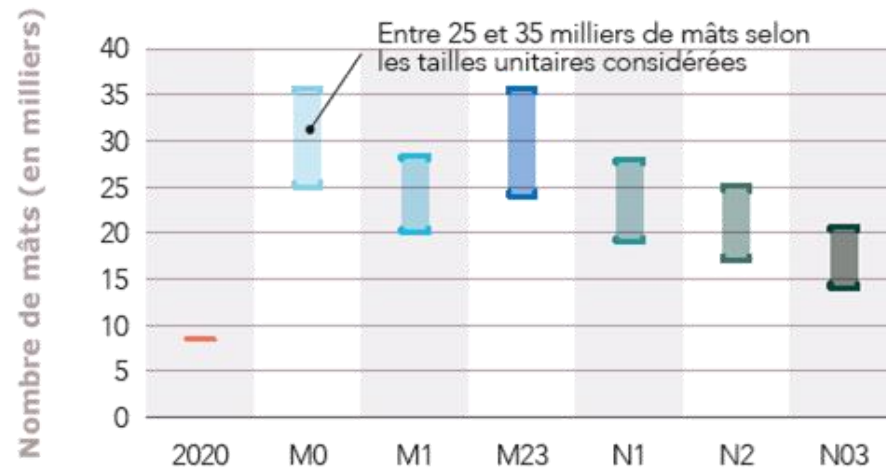
Futurs énergétiques 2050 - principaux enseignements



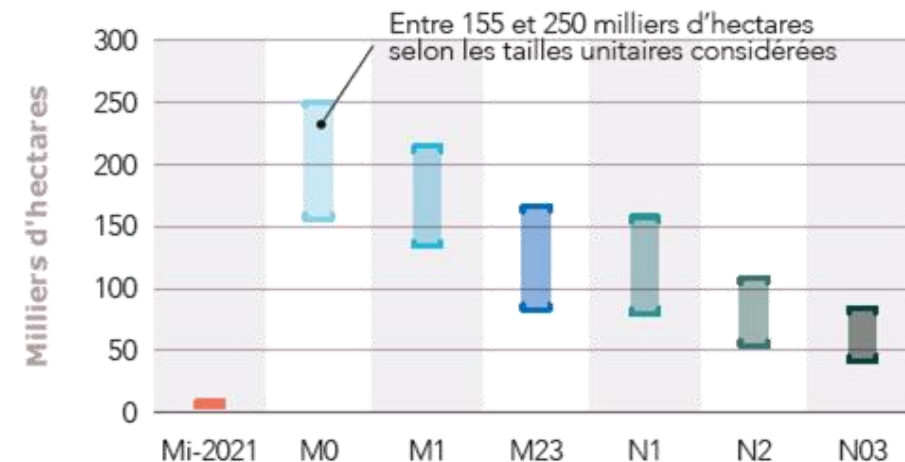
13

Le développement des énergies renouvelables soulève un enjeu d'occupation de l'espace et de limitation des usages. Il peut s'intensifier sans exercer de pression excessive sur l'artificialisation des sols, mais doit se poursuivre dans chaque territoire en s'attachant à la préservation du cadre de vie

Projection du nombre de mâts d'éoliennes terrestres à l'horizon 2050



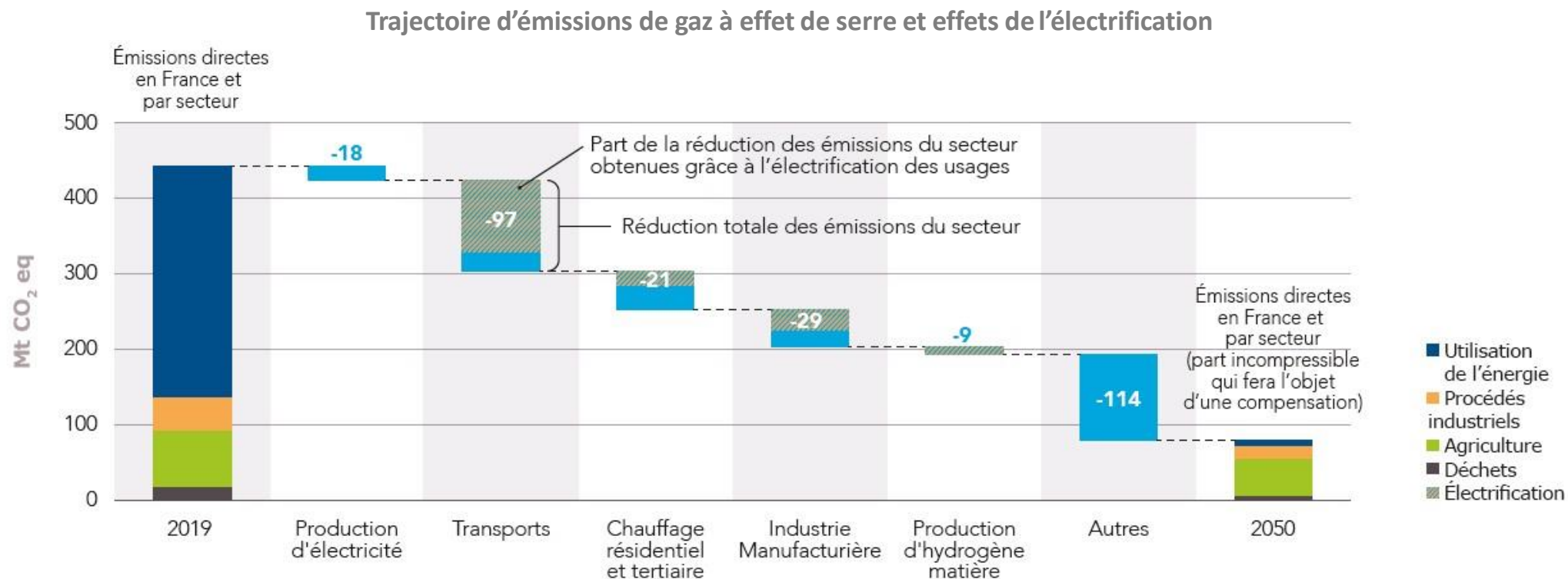
Projection du nombre d'hectares occupés par des panneaux photovoltaïques au sol à l'horizon 2050





14

Même en intégrant le bilan carbone complet des infrastructures sur l'ensemble de leur cycle de vie, l'électricité en France restera très largement décarbonée et contribuera fortement à l'atteinte de la neutralité carbone en se substituant aux énergies fossiles





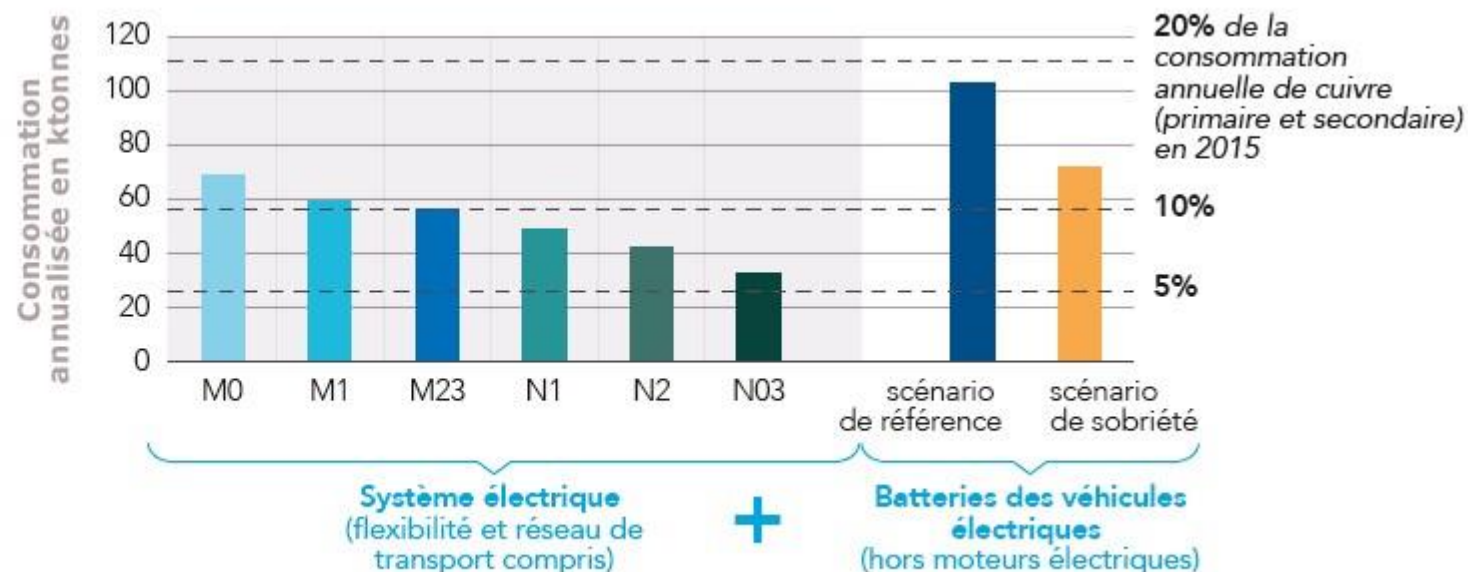
15

L'économie de la transition énergétique peut générer des tensions sur l'approvisionnement en ressources minérales, particulièrement pour certains métaux, qu'il sera nécessaire d'anticiper

Consommation annuelle de cuivre projetée à 2050 dans les scénarios et pour les batteries de véhicules

Aluminium
Cuivre
Acier
Béton
Terres rares
Argent
Silicium
Uranium
Zirconium
Graphite
Lithium
Cobalt
Manganese
Nickel
Chrome
Zinc

Exemple pour le cuivre dont l'approvisionnement est aujourd'hui jugé critique du fait d'une demande en forte croissance et de réserves qui pourraient devenir insuffisantes



Général

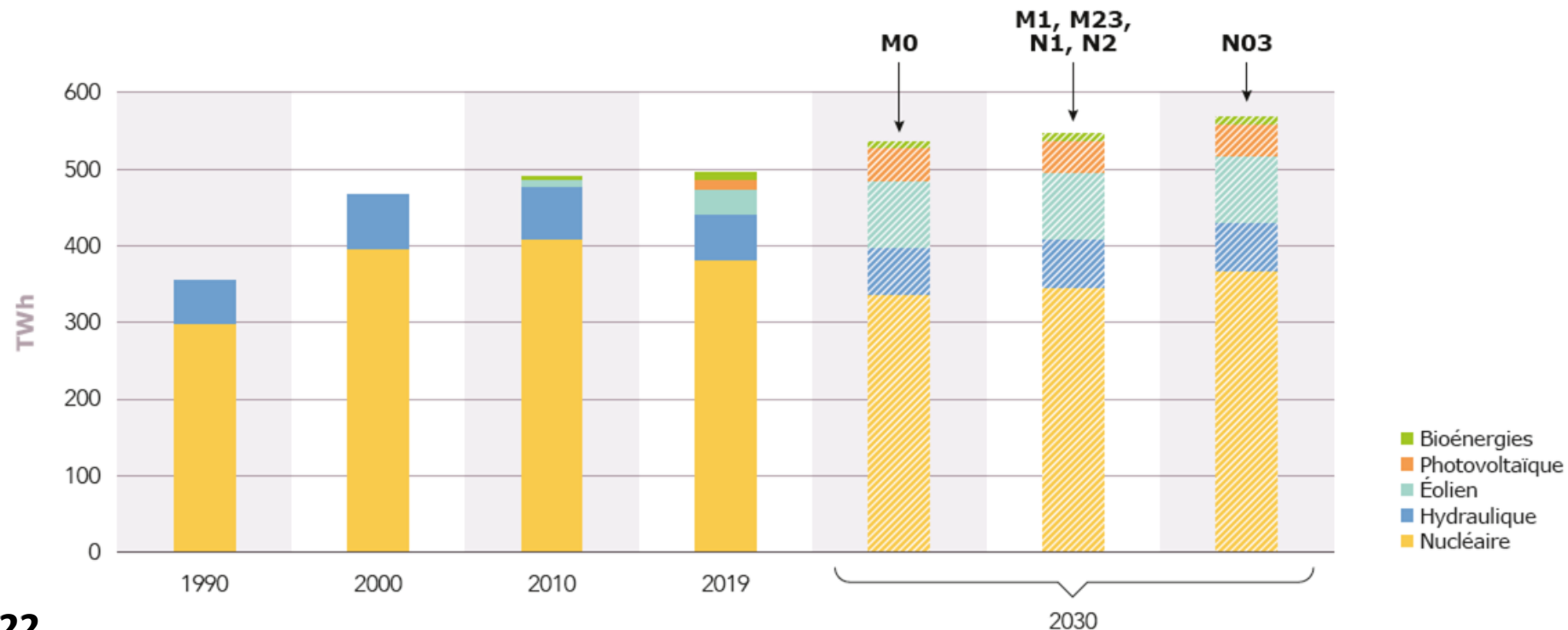
Futurs énergétiques 2050 - principaux enseignements



17

Pour 2030 : développer les énergies renouvelables le plus rapidement possible et prolonger les réacteurs nucléaires existants dans une logique de maximisation de la production bas-carbone augmente les chances d'atteindre la cible du nouveau paquet européen « -55 % net »

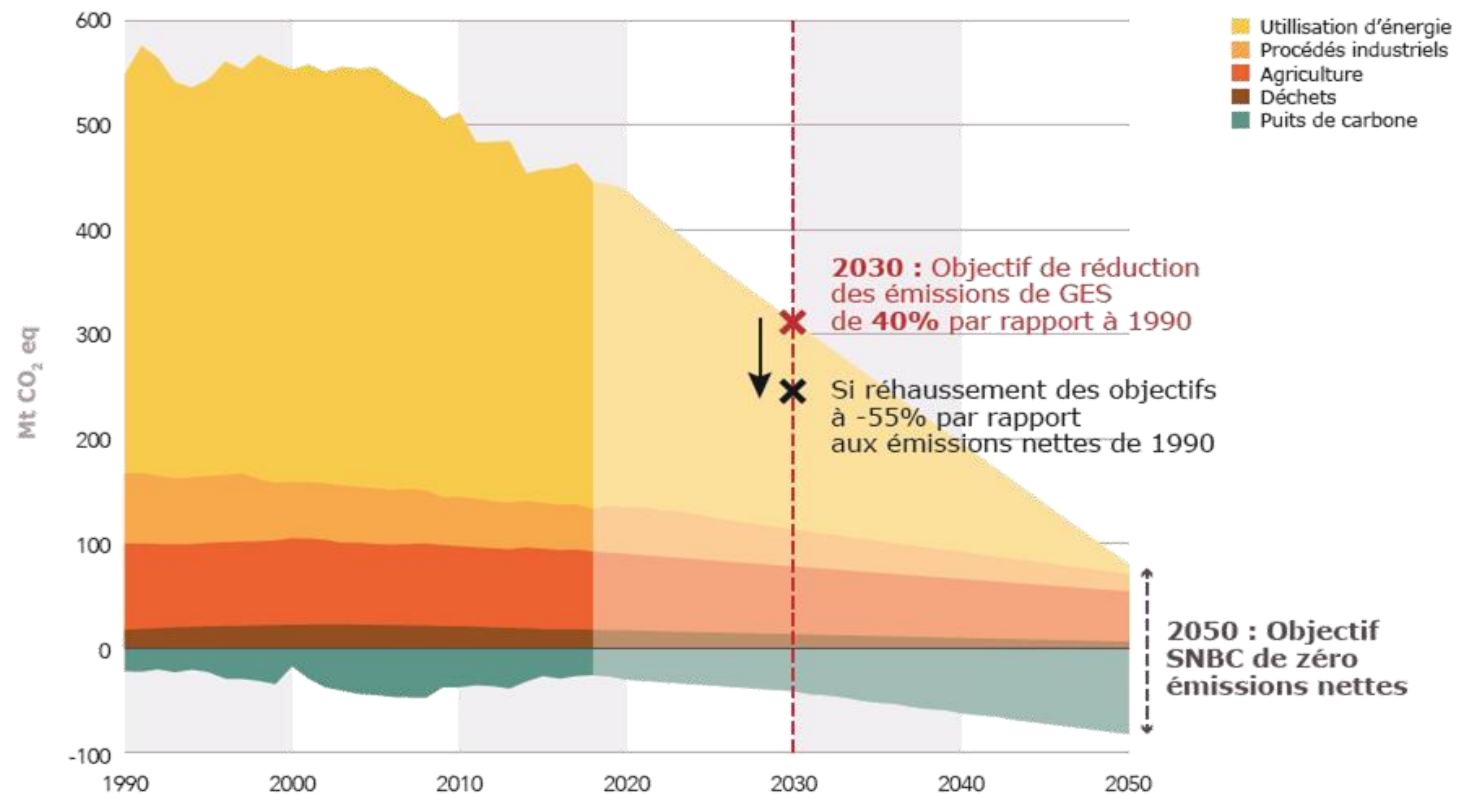
Production d'électricité bas-carbone en France (historique et projections 2030)



18

Quel que soit le scénario choisi, il y a urgence à se mobiliser

Evolution des émissions et des puits de gaz à effet de serre (historique et objectifs)



Intervention Président de la République le 10 février 2022 à Belfort

- **Planter cinquante parcs éoliens en mer pour 2050**

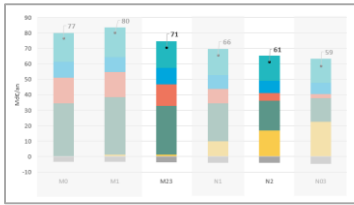
M. Macron a annoncé l'objectif de doter la France d'une cinquantaine de parcs éoliens en mer pour « *viser 40 gigawatts en service en 2050* », un seuil très ambitieux. Autre objectif : multiplier par deux la capacité de l'éolien terrestre, une augmentation plus lente que prévu.

Afin de doubler la production issue des énergies renouvelables électriques d'ici à 2030, il a aussi appelé à multiplier « *par près de dix la puissance installée* » de l'énergie solaire « *pour dépasser 10 gigawatts* ». « *Il nous faut développer massivement les énergies renouvelables* », a-t-il dit, « *tout simplement parce que c'est le seul moyen de répondre à nos besoins immédiats en électricité là où il faut quinze ans pour construire un réacteur nucléaire* ».

Il faut « *avoir l'honnêteté de reconnaître que nous avons pris du retard* », a ajouté le chef de l'Etat. M. Macron a notamment mis en cause la multiplication « *des couches réglementaires* » qui ont « *retardé les projets* », évoquant « *cinq ans de procédure* » pour faire naître un parc solaire. Il a également dit vouloir lever « *toutes les barrières réglementaires à partir du moment où les projets seront acceptés localement* ».

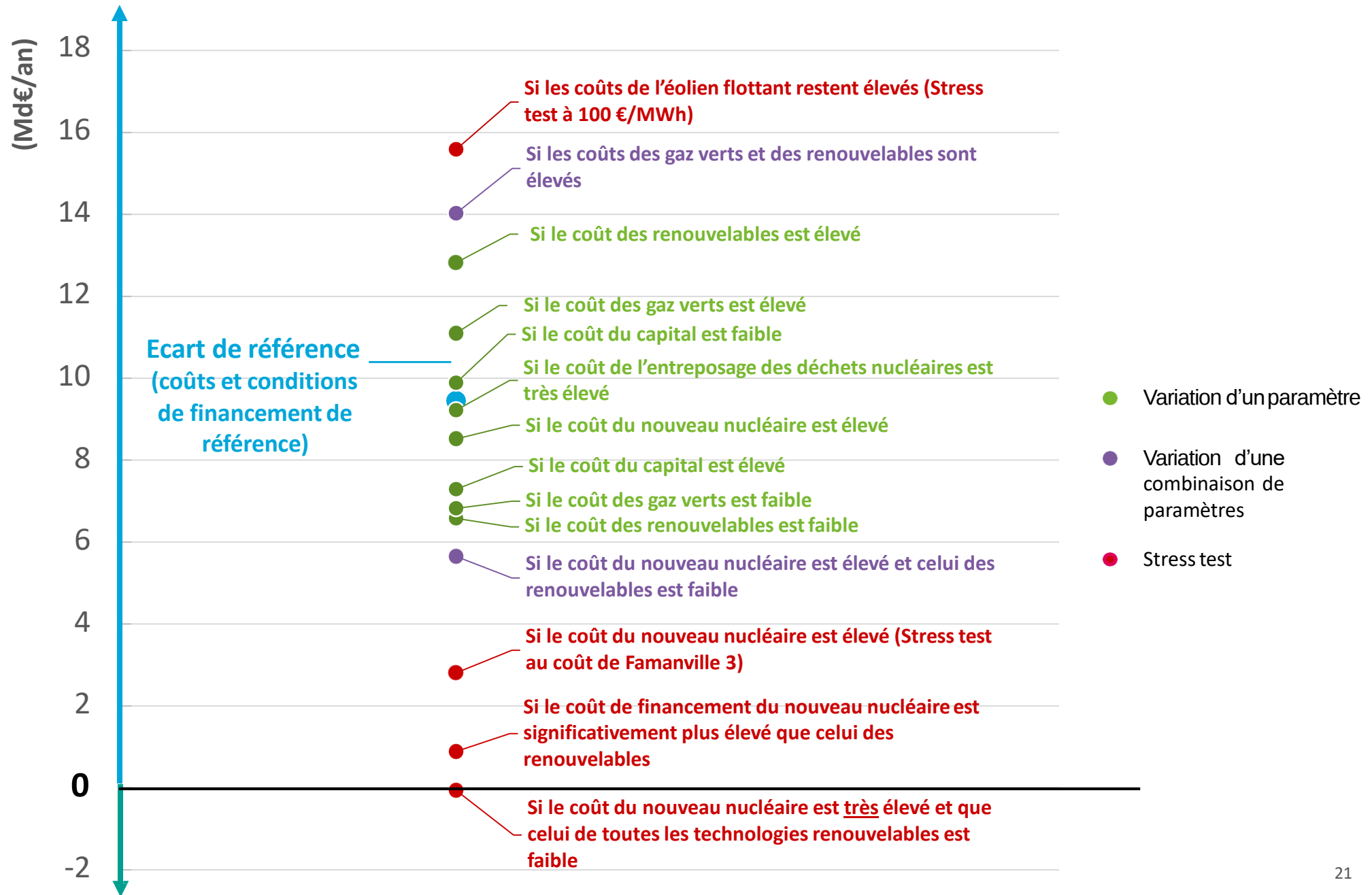
Annexes

Evolution de l'écart de coûts complets annualisés entre les scénarios N2 et M23 (en Md€/an)



N2 moins cher que M23

N2 plus cher que M23

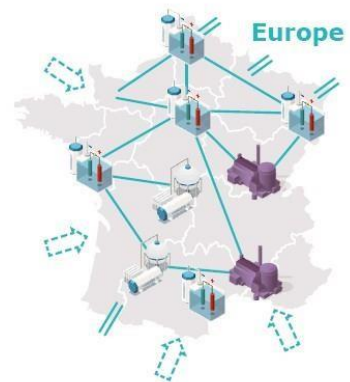




10

Créer un « système hydrogène bas-carbone » performant est un atout pour décarboner certains secteurs difficiles à électrifier, et une nécessité dans les scénarios à très fort développement en renouvelables pour stocker l'énergie

Vision d'un système hydrogène largement interconnecté et très flexible



Référence : Système hydrogène flexible



Vision d'un système hydrogène peu flexible



Électrolyseur



Stockage H₂



Centrale thermique



Routes commerciales d'import de gaz décarboné



Interconnexions