

12^{ÈME} COLLOQUE ANNUEL DU CLUB STOCKAGE

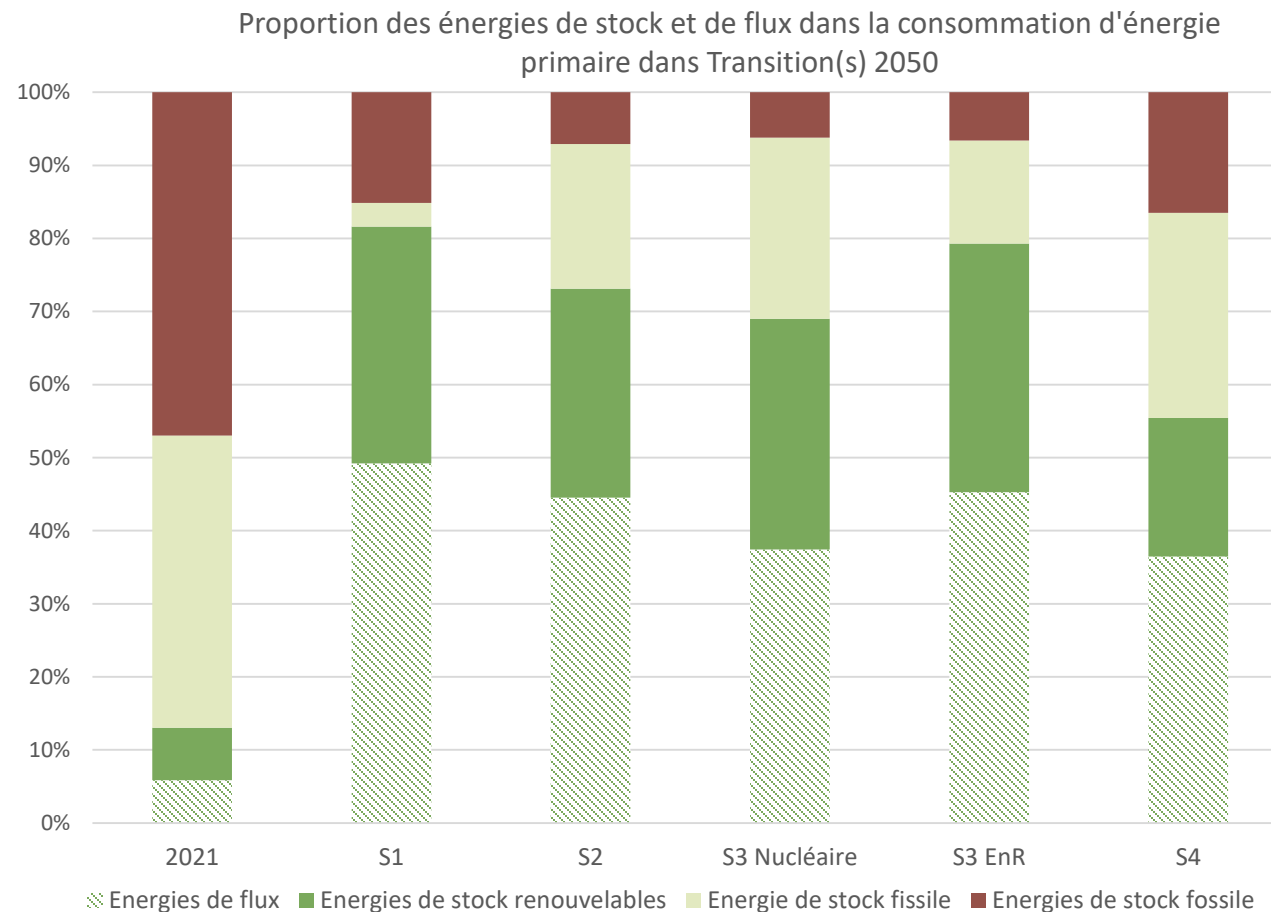


Place du stockage dans les scénarios de transition énergétique

Interactions avec la flexibilité de la demande

Une forte augmentation des énergies de flux d'ici 2050

- Mix énergétique actuel dominé par des énergies de stock (combustibles fossiles, nucléaire, biomasse)
- D'ici à 2050, développement de certaines énergies de stock (biogaz, biocarburants) mais aussi forte intégration des énergies variables (chaleur environnement, éolien, solaire)
- Rôle alors indispensable d'installations de stockage pour faciliter l'équilibre offre-demande :
 - Stockage chimique (hydrogène, méthane)
 - Stockage électrochimique
 - Stockage mécanique
 - Stockage thermique



Des enjeux de lisser les flux particulièrement sur le vecteur électrique

- L'hydroélectrique, le solaire et l'éolien représentent la grande majorité de la production électrique

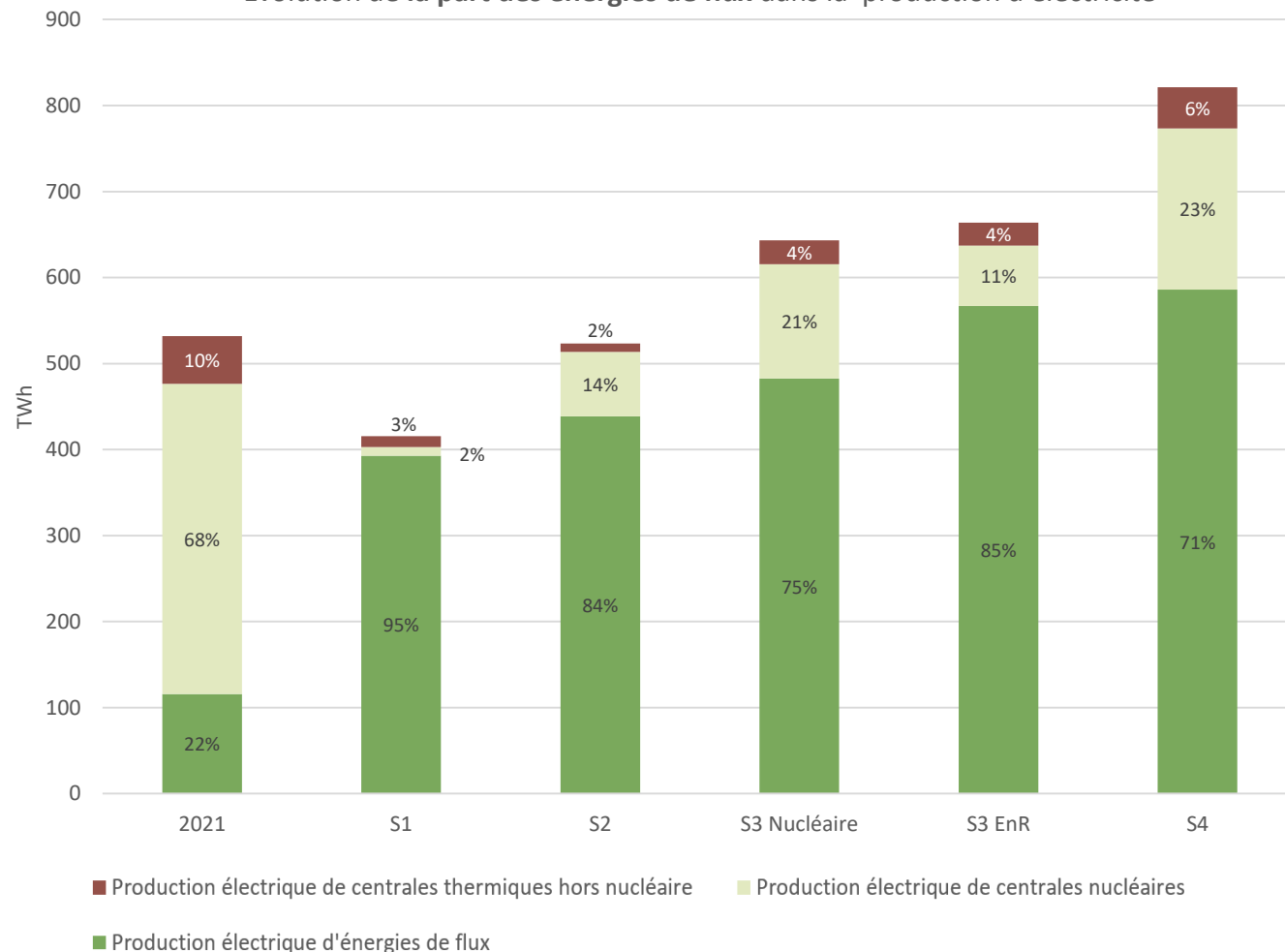
- Réduction de la flexibilité de la production par moins de pilotabilité



Besoin d'augmentation des autres flexibilités (demande, stockage et interconnexions)

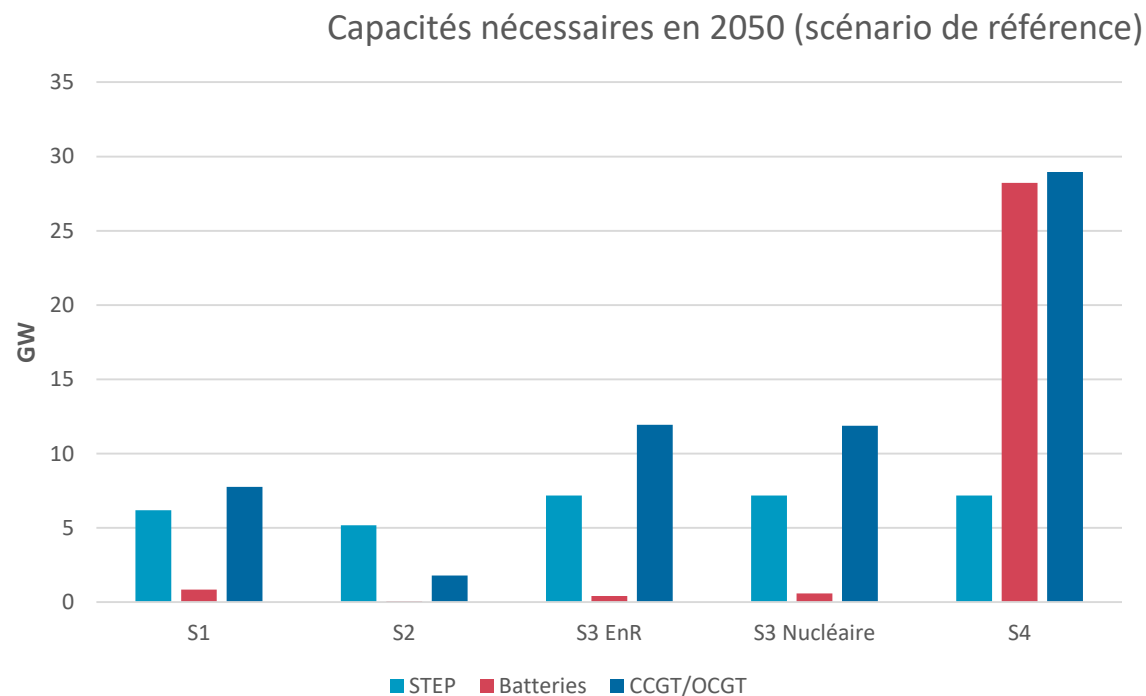
- Les décalages de consommation via les réseaux de chaleur et de froid sont également un moyen économique de flexibiliser la demande

Evolution de la part des énergies de flux dans la production d'électricité



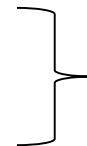
Synthèse des capacités de stockage estimées nécessaires

- Trois types de stockage ont été utilisés pour l'équilibrage offre-demande : les STEP, les batteries et le power-to-methane-to-power.
- Les besoins en batterie (hors réserves) sont d'environ 1GW pour les scénarios, en dehors du S4 dont la demande n'est pas flexible
- Les centrales de pointe (CCGT/OCGT), alimentés partiellement par du méthane de synthèse, assurent un équilibrage essentiel pour l'équilibrage saisonnier, mais les capacités restent du même ordre de grandeur que les centrales thermiques à flamme actuelles



Forte dépendance du stockage aux autres flexibilités (1/3)

Développement des interconnexions avec les pays limitrophes
Acceptabilité de la pilotabilité de la demande (VE, ECS, industrie)

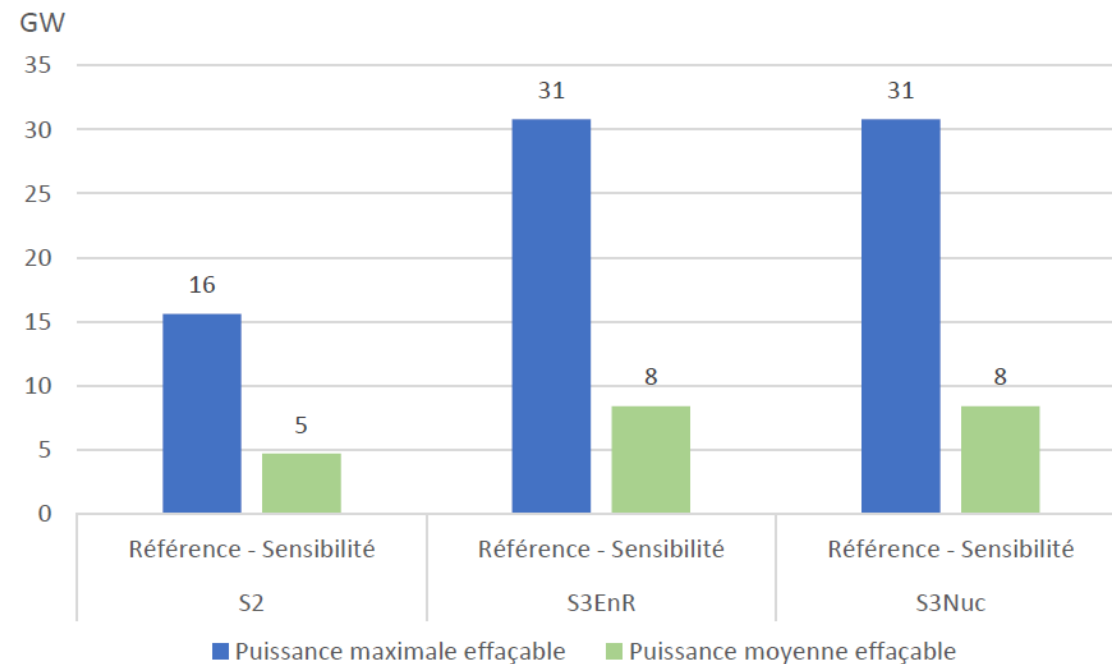


Baisse des besoins en capacités de stockage

Dans Transition(s) 2050, ces deux flexibilités ont été fortement déployées dans la plupart des scénarios (hors S4), en cohérence avec les narratifs de sobriété et de transition des pays voisins.

Etude de sensibilité réalisée pour déterminer l'influence sur le mix électrique d'une **baisse du pilotage de la demande** →

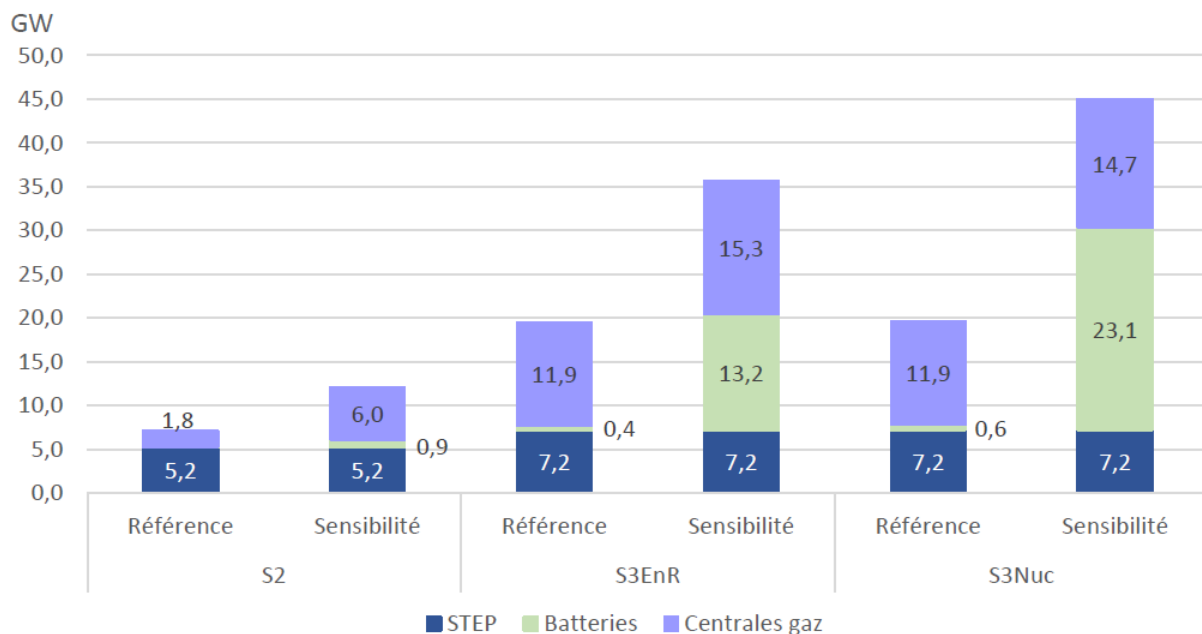
- Evolution libre des capacités de centrales gaz & stockages
- Capacités fixées des autres moyens de production, mais répartition géographique et techno (PV fixe, tracker) optimisable



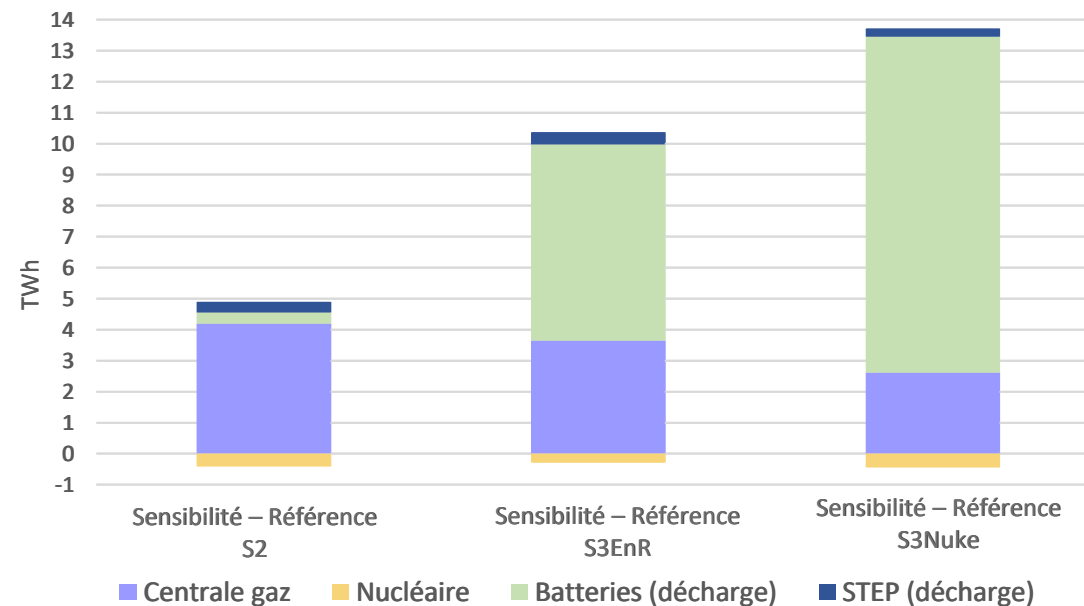
Différentiel des puissances max et moyennes effaçables entre référence et sensibilité

Forte dépendance du stockage aux autres flexibilités (2/3)

- Les résultats montrent bien **une augmentation des besoins en stockage si la demande est moins flexible**, avec :
 - Une augmentation de la capacité et du recours aux centrales de pointe gaz (>80% renouvelable hors S4)
 - Pour le scénario S3 EnR, la baisse de la flexibilité de la demande augmente les besoins en batterie de 13GW et en centrale de pointe de 3GW
- Des analyses restent en cours : baisse de flexibilité sur S1 & S4, variation flexibilité des électrolyseurs sur le S2



Capacités de pointe et de stockage en 2050



Différentiel de production des capacités pilotables en 2050

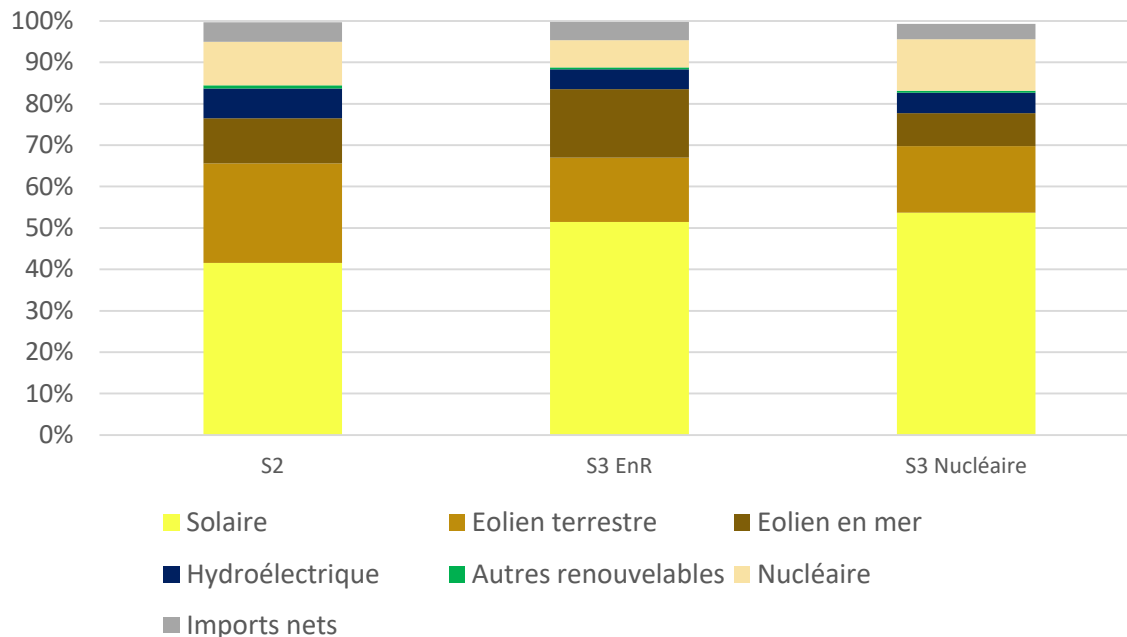
Forte dépendance du stockage aux autres flexibilités (3/3)

- **Au global,**

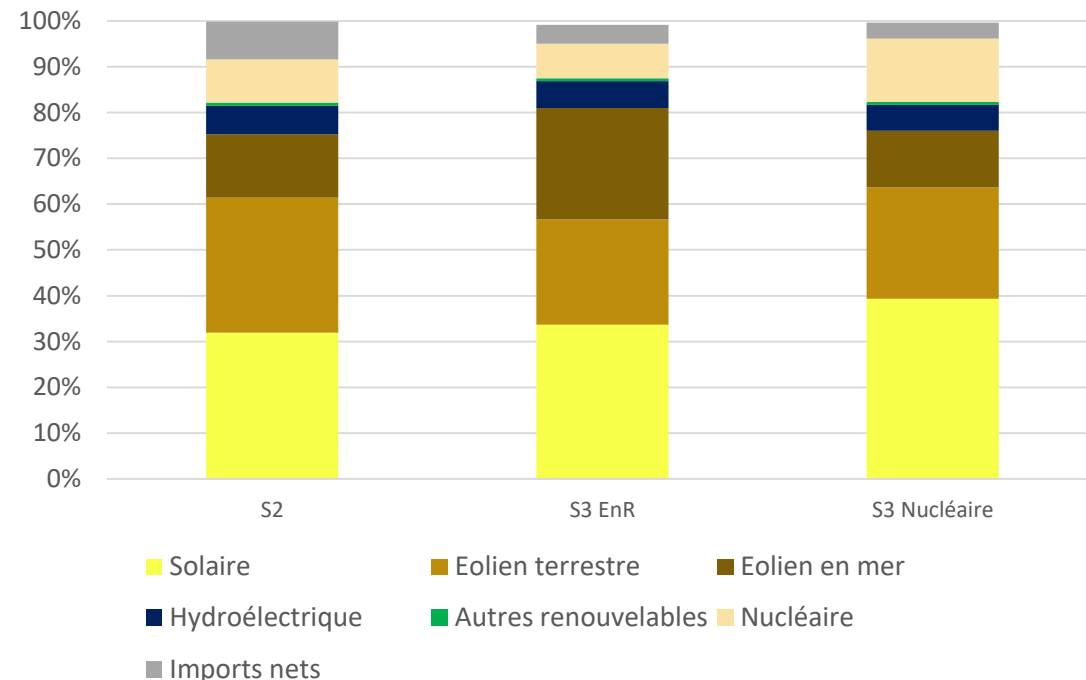
- | **Une diminution très forte des flexibilités de la demande** (dans la plupart des cas, ~ - 50 %) :
 - | **Peut-être compensée majoritairement par des capacités de stockage** (centrales à gaz, batteries) :
 - | Dont la production incrémentale (sensibilité-référence) représente moins de 2 % pour S2 et 1 % pour S3 de la production totale de chacun de ces scénarios.
 - | Avec une certaine complémentarité entre stockage journalier (batterie) et longue durée (centrales à gaz) , pour S3
 - | **Génère une nouvelle répartition régionale des EnR**
 - | **N'a pas un impact significatif sur les coûts totaux annuels** (de l'ordre de 0,5 à 2 %) ;
 - | **Impacte directement le fonctionnement horaire du système autour du pic solaire de production** en désynchronisant la demande et la production, en nécessitant d'exporter la production correspondante non consommée, et en favorisant l'installation de **trackers solaire** (de + 6 à 21 GW) pour élargir la période de production du solaire.

Des moyens de stockage essentiellement liés aux EnR variables

Electricité consommée par les batteries



Electricité consommée par les STEP



- Particulièrement pour les batteries, un des rôles du stockage est de décaler le pic photovoltaïque en équilibre horaire/journalier
- Pour autant, ce sont au plus **4% de la production photovoltaïque** et **1% de la production éolienne** qui passent par un stockage batterie dans les modélisations

Enseignements principaux des visions prospectives

- Les énergies variables (éolien, solaire) n'ont pas besoin de stockage systématique : en dehors du S4, leur puissance installée > 10 fois celles des centrales de pointes et des stockages, même en cas de faible flexibilité de la demande
- Bien que le stockage d'électricité ne devrait représenter **qu'une part relativement faible du bilan électrique** en 2050, son rôle est essentiel et le stockage saisonnier via l'hydrogène (avec méthanation ou non) demande une forte anticipation
- L'importance du développement du stockage (horaire, journalier, saisonnier) **est intimement liée à l'évolution de la flexibilité de la demande** (véhicules électriques, industrie, etc.)

Publications ADEME à venir :

- Avis sur le stockage dans la transition énergétique
- Avis sur la flexibilité du système électrique

Lancement d'une ACV sur le stockage de l'électricité (10/23)

Soutiens de l'ADEME au stockage de l'énergie

- **Projets à soumettre à la stratégie TASE (Technologies Avancées des Systèmes Energétiques)**
 - AAP [DEMO TASE](#) « Améliorer le couplage sectoriel, c'est-à-dire l'interaction entre plusieurs « fluides énergétiques » (électricité, gaz, chaleur / froid, eau), à des fins de flexibilité, d'équilibrage entre l'offre et la demande, ou d'efficacité de l'utilisation des ressources énergétiques locales »
 - Prochaine clôture 1^{er} mars 2024 puis 15 septembre 2024
- **Suivi de projets démonstrateurs (exemples)**
 - Optimisation multivecteur électricité/chaleur/froid (MSE Nice Méridia)
 - Power-to-hydrogen-to-power (CEOG)
 - Améliorer la 2nde vie des batteries (4BLife)
- [Guichet i-Nov](#), clôtures régulières ; thème « Stockage et systèmes énergétiques »
- Thèses cofinancées chaque année, notamment sur l'innovation des systèmes de stockage (ex : batterie solide, sécurité des batteries)
- Guichet R&D réouvert en 2025

Annexe

- Hypothèses de flexibilité, référence

| | 2020 | | 2030 | | 2050 | |
|-----------------------|------|-----|------|-----|------|-----|
| | S2 | S3 | S2 | S3 | S2 | S3 |
| Véhicules électriques | 12% | 12% | 25% | 35% | 60% | 70% |
| ECS | 80% | 80% | 85% | 90% | 90% | 95% |
| Chauffage | 0% | 0% | 20% | 25% | 40% | 45% |
| Climatisation | 0% | 0% | 20% | 25% | 40% | 45% |
| Produits blancs | 0% | 0% | 15% | 30% | 25% | 40% |
| Industrie | 20% | 20% | 40% | 40% | 50% | 50% |



- Hypothèses de flexibilité, sensibilité

| | 2020 | | 2030 | | 2050 | |
|-----------------------|------|-----|------|-----|------|-----|
| | S2 | S3 | S2 | S3 | S2 | S3 |
| Véhicules électriques | 12% | 12% | 10% | 20% | 30% | 35% |
| ECS | 80% | 80% | 80% | 80% | 80% | 80% |
| Chauffage | 0% | 0% | 10% | 15% | 20% | 25% |
| Climatisation | 0% | 0% | 10% | 15% | 20% | 25% |
| Produits blancs | 0% | 0% | 10% | 15% | 15% | 20% |
| Industrie | 20% | 20% | 25% | 25% | 30% | 30% |

Annexe

- Influence de la baisse de la flexibilité sur le mix de production

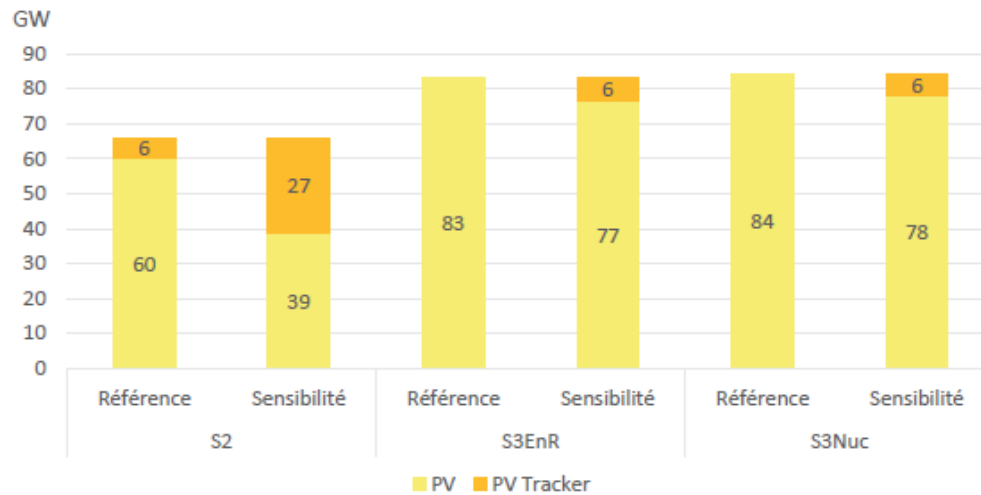


Figure 4 : Répartition de la capacité solaire installée entre solaire et solaire traqueur

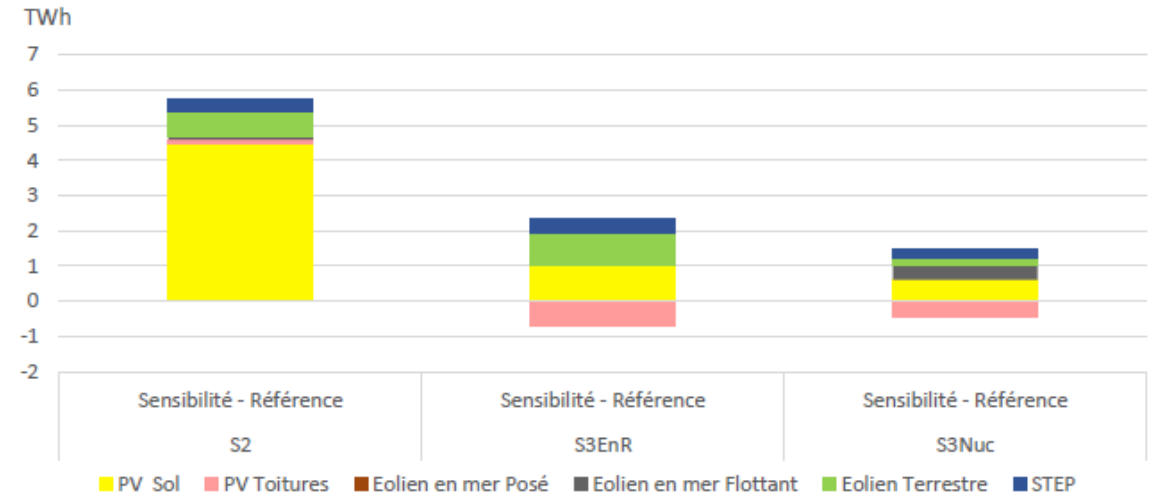


Figure 5 : Différence de production renouvelable entre sensibilité et référence pour chaque scénario