

# L'évolution du stockage d'énergie

Gardez une longueur d'avance sur la mégatendance du stockage de l'énergie et découvrez les dernières options technologiques adaptées aux différentes applications.





## Résumé

Il y a moins de dix ans, le secteur du stockage de l'énergie était bien différent de ce qu'il est aujourd'hui. En 2012, le monde ne comptait que 0,34 gigawatt (GW) de capacité de stockage d'énergie. Rien qu'en 2017, environ 6 GW de stockage d'énergie avancé ont été installés. Avec l'augmentation de la population, des taux de consommation d'énergie et de la quantité d'énergie renouvelable, le stockage de l'énergie devrait également augmenter régulièrement pour atteindre plus de 40 GW d'ici à 2022.<sup>1</sup>

Les services publics et les industries privées se sont particulièrement intéressés aux applications de stockage d'énergie à grande

échelle en raison des possibilités d'améliorer la fiabilité et les performances électriques, du potentiel de nivellement des coûts de l'énergie et du fait qu'elles pourraient constituer le chaînon manquant entre l'énergie renouvelable intermittente et la fiabilité 24 h/24, 7 j/7 de l'énergie renouvelable.

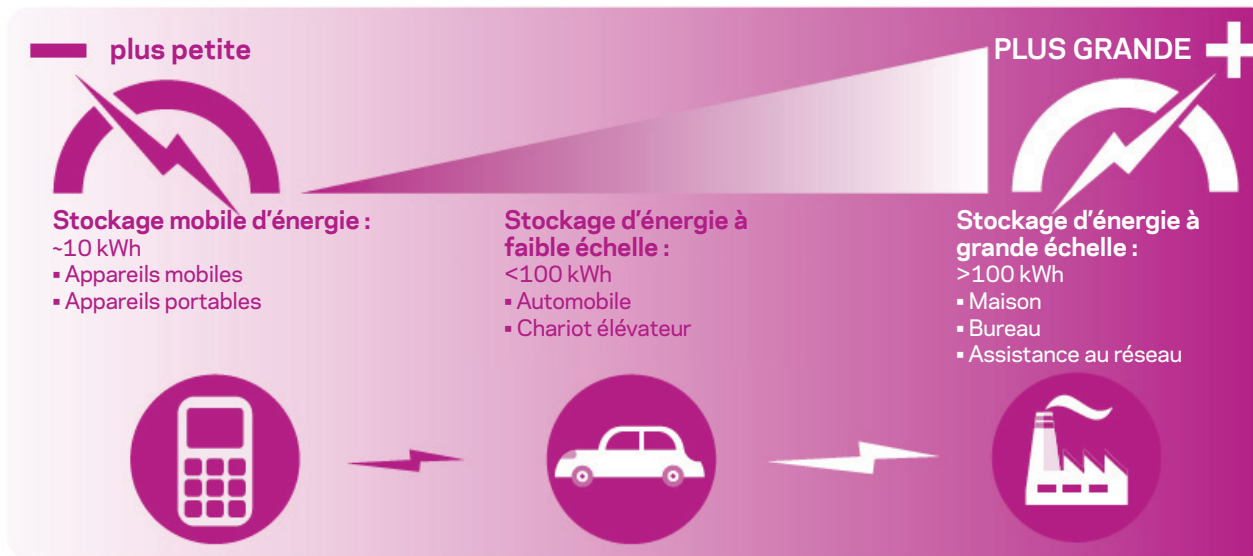
Les membranes des séries Nafion™ 300, 400 et 500 sont des membranes renforcées, composées exclusivement de polymères sulfonés, conçues pour la production de caustique diluée et de potasse caustique. Les membranes de la série Nafion™ 500 ont fait l'objet d'une modification de surface sur une ou deux faces pour une meilleure libération des gaz.

<sup>1</sup> Source : Données de l'Energy Storage Association

## Diversité croissante des projets de stockage d'énergie en perspective

En 2022, le marché mondial du stockage de l'énergie dépassera probablement les 40 GW. Cette forte augmentation sera définie non seulement par de plus gros volumes, mais aussi par une plus grande variété de types et de tailles de projets, y compris des projets à grande et à petite échelle.

**Les avantages du stockage d'énergie à grande échelle sont un sujet sensible pour les services publics et les entreprises**



## De petite échelle à grande échelle : Le stockage d'énergie ne connaît pas la discrimination

Des objets connectés portables aux automobiles en passant par l'assistance au réseau collectif, le stockage d'énergie fait l'objet d'une demande accrue pour tous les types d'applications. Sur le plan technique, il n'existe pas de marqueurs officiels permettant de distinguer le stockage d'énergie mobile, à petite échelle et à grande échelle, mais le diagramme ci-dessous devrait permettre de dresser un tableau relativement clair. Dans la suite de ce document, nous allons nous concentrer sur le stockage d'énergie à grande échelle en fonction de son apport. Bien que le système de codage par couleur soit devenu de plus en plus détaillé et complexe, les quatre catégories énumérées ici sont les plus courantes.\*

## Une proposition convaincante : Pourquoi les applications de stockage d'énergie à grande échelle gagnent autant en popularité

Compte tenu des nombreux avantages potentiels du stockage d'énergie à grande échelle, il n'est pas étonnant que les services publics et les entreprises en fassent un sujet d'actualité. Les applications de stockage d'énergie à grande échelle peuvent :

- **Améliorer la qualité de l'électricité** en régularisant le flux d'énergie, qui peut augmenter ou baisser sans prévenir.
- **Améliorer la fiabilité de l'électricité** en fournissant une source d'énergie de secours en cas de défaillance de la source d'énergie principale.
- **Améliorer le rendement des actifs de production d'énergie ou de transmission et de distribution (T&D)** en récupérant l'énergie qui excède la demande existante.
- **Éliminer ou différer les modernisations coûteuses de l'infrastructure du réseau.**
- **Niveler les coûts de l'énergie** sur les marchés où le coût de production d'électricité est nettement moins cher à un moment donné qu'à un autre.
- **Fournir de l'énergie renouvelable, proposition de valeur plus séduisante que les alternatives moins durables** comme les sources d'énergies fossiles (par exemple le charbon et le gaz naturel).



# Applications et options technologiques du stockage d'énergie à grande échelle

Le marché du stockage de l'énergie à grande échelle peut être divisé en deux segments : En aval du compteur (Behind the Meter, BTM) et en amont du compteur (In Front of the Meter, FTM).

## En aval du compteur



Les applications de stockage d'énergie utilisées dans les systèmes d'alimentation de secours dans les entreprises ou les hôpitaux, les micro-réseaux dans les

installations industrielles ou les maisons équipées de panneaux solaires sont considérées comme étant « en aval du compteur ». Ces systèmes résidentiels, commerciaux et industriels n'appartiennent pas à un fournisseur d'électricité et sont destinés à la consommation d'énergie sur place. La technologie des applications « en aval du compteur » vise à fournir aux clients des informations sur les économies d'énergie et de coûts, par exemple :

### Gestion de la tarification de la demande

**Principe de fonctionnement :** Permet aux utilisateurs finaux de stocker de l'énergie lorsque les frais de consommation sont les plus bas (généralement la nuit), afin qu'ils puissent économiser de l'argent en évitant les frais de consommation plus élevés pendant les heures de pointe de la journée

**Besoins en énergie :** Réduit la consommation maximale d'énergie pendant les périodes de pointe et limite la puissance pour assurer le fonctionnement des petits systèmes pendant une courte période

**Technologies courantes de stockage d'énergie :** Batteries lithium-ion et plomb-acide et volants de grande puissance

## En amont du compteur



Les applications de stockage d'énergie utilisées pour créer et distribuer de l'électricité qui appartiennent à un fournisseur d'électricité sont considérées comme étant « en amont du

compteur ». Ces applications produisent de l'énergie électrique interconnectée avec des réseaux de distribution ou de transmission qui leur permettent de vendre en gros aux services publics ou aux utilisateurs finaux. Par exemple :

### Services auxiliaires

**Principe de fonctionnement :** Fournissent des services spécialisés qui assurent un débit continu d'électricité, de manière à ce que l'offre réponde en permanence à la demande, tout en maintenant la stabilité et la sécurité du réseau.

**Besoins en énergie :** Requièrent des décharges brèves et fréquentes

**Technologies courantes de stockage d'énergie :** Batteries lithium-ion et plomb-acide et volants de grande puissance

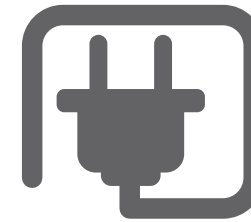
## Intégration renouvelable

**Principe de fonctionnement :** Le décalage dans le temps de l'énergie provenant de sources renouvelables (solaire, éolienne, etc.) afin que l'énergie puisse être stockée pendant les périodes où elle est abondante (la journée pour les panneaux solaires) et libérée lorsqu'elle ne l'est pas (la nuit) permet aux systèmes d'énergie renouvelable d'atteindre leur plein potentiel

**Besoins en énergie :** Doit pouvoir charger et décharger pendant plus de quatre heures en moyenne

**Technologies courantes de stockage d'énergie :** Batteries à flux

## Transmission et distribution (T&D)



**Principe de fonctionnement :** Améliore la stabilité, la performance et le coût de l'énergie. Par exemple : Pendant les périodes de pointe, elle permet de réduire le besoin de

transmettre de grandes quantités d'énergie le long des lignes de transmission et de distribution sur de longues distances.

**Besoins en énergie :** Varie considérablement en fonction de l'application spécifique

**Technologies courantes de stockage d'énergie :** Batteries à flux, sodium-soufre, plomb-acide et lithium-ion et volants de grande puissance

## Point sur le contexte des applications de stockage d'énergie à grande échelle : Applications T&D

Les applications de stockage d'énergie T&D revêtent de nombreuses formes et les lignes entre les sous-catégories semblent se chevaucher, ces services étant complémentaires, voire similaires. Les sous-catégories de T&D sont par exemple :

### Report de T&D

**Principe de fonctionnement :** Fournit une alimentation de secours pendant les périodes de pointe de la demande sur les anciens réseaux, ce qui permet aux services publics de différer la modernisation du système d'alimentation ou l'installation d'un nouveau système

**Besoins en énergie :** Requier une alimentation importante en énergie pendant plusieurs heures par jour, en moyenne

**Technologies courantes de stockage d'énergie :** Batteries lithium-ion, si la durée est inférieure à quatre heures par jour, ou batteries à flux pour une durée plus longue

### Réduction des encombrements T&D

**Principe de fonctionnement :** Améliore les performances électriques de la transmission de l'énergie à d'autres réseaux, de sorte que les systèmes peuvent gérer une plus grande capacité de charge lorsque la demande d'énergie atteint son maximum ou « encombre » la capacité existante.

**Besoins en énergie :** Requier une alimentation importante en énergie pendant plusieurs heures par jour, en moyenne

**Technologies courantes de stockage d'énergie :** Batteries lithium-ion, si la durée est inférieure à quatre heures par jour, ou batteries à flux pour une durée plus longue



## Batteries rechargeables : Les technologies les plus rentables pour les applications T&D

Les batteries rechargeables sont devenues les favorites dans de nombreuses applications T&D car elles peuvent fonctionner dans toutes sortes d'environnements, ont une longue durée de vie et offrent des temps de réponse rapides ainsi qu'une bonne densité énergétique. Il en existe de nombreuses formes, tailles et types différents, qui ont tous leurs propres avantages en fonction de l'application.

### Batterie lithium-ion

**Avantages :** L'option rechargeable la plus efficace avec la meilleure densité énergétique. Elle peut également se vanter d'avoir une durée de vie supérieure à la moyenne, ce qui se traduit par de faibles coûts actualisés (dépassés uniquement par les batteries à flux). En outre, la technologie est bien établie et largement utilisée, avec une forte capacité de la chaîne de valeur et des avantages économiques.

**Inconvénients :** Elle présente des problèmes considérables de sécurité incendie, ce qui pourrait constituer un risque majeur pour les applications à grande échelle. Les batteries à haut rendement sont difficiles à éliminer et la batterie peut perdre de sa capacité en cas de décharge poussée ou de cyclage profond.

### Batterie plomb-acide

**Avantages :** L'option rechargeable la moins chère à l'achat, très efficace, avec une forte densité énergétique. Elle fournit en toute sécurité des courants de surtension élevés à faible coût.

**Inconvénients :** Son temps de décharge est faible et sa durée de vie est courte, ce qui entraîne des coûts actualisés plus élevés au fil du temps. Elle pose également des problèmes environnementaux car elle ne peut pas être jetée dans les décharges.

### Batterie sodium-soufre (NaS)

**Avantages :** Elle offre une forte densité d'énergie et une longue période de décharge (dépassée uniquement par les batteries à flux). Elle est peu coûteuse et son cycle de vie est moyen.

**Inconvénients :** Elle contient des matières dangereuses comme le sodium métallique, qui est combustible s'il est exposé à l'eau. Elle fonctionne également à des températures élevées (300-350° C [572-662° F]) et certaines versions produisent des solides indésirables de disulfure de sodium (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>) lorsque le niveau de décharge est élevé.

### Batterie à flux

**Avantages :** Disponibles en plusieurs compositions chimiques, elles ont une longue durée de vie (plus de 20 ans), ce qui permet d'obtenir le meilleur coût actualisé à long terme parmi toutes les options rechargeables. Elle est également évolutive, facile à entretenir, ininflammable et sûre, avec une faible empreinte environnementale, et elle se décharge en profondeur pendant quatre heures ou plus.

**Inconvénients :** Son coût d'installation est plus élevé et sa densité énergétique et son efficacité sont moindres.

**Les batteries rechargeables sont devenues les favorites dans de nombreuses applications T&D car elles peuvent fonctionner dans de nombreux environnements différents.**

CRITÈRES	LITHIUM-ION	PLOMB-ACIDE	NaS	FLUX
Efficacité				
Densité énergétique				
Durée de décharge (à puissance nominale)				
Cycle de vie				
Coût d'installation				
Coût actualisé				
Sécurité				
Environnement				

## Le point sur les batteries à flux

### Pourquoi les experts s'intéressent-ils tant aux batteries à flux ?

Cette technologie relativement nouvelle peut potentiellement être utilisée dans un large éventail d'applications de stockage d'énergie, allant du kilowattheure au mégawattheure. Les batteries à flux offrent des solutions économiques, sûres et à faible empreinte sur l'environnement, ainsi que des systèmes à faible vulnérabilité pour stocker l'énergie électrique.

### Comment fonctionnent les batteries à flux ?

Les batteries à flux sont des dispositifs électrochimiques qui stockent l'électricité dans des solutions électrolytiques, elles-mêmes stockées dans des réservoirs et pompées à travers la cellule pendant les cycles de charge/décharge. Chaque cellule est constituée de deux demi-cellules (une anode et une cathode) séparées par une membrane qui assure la séparation chimique et électrique des deux côtés de la cellule. La membrane permet également le transfert ionique pour accompagner la réaction électrochimique des deux côtés de la cellule.

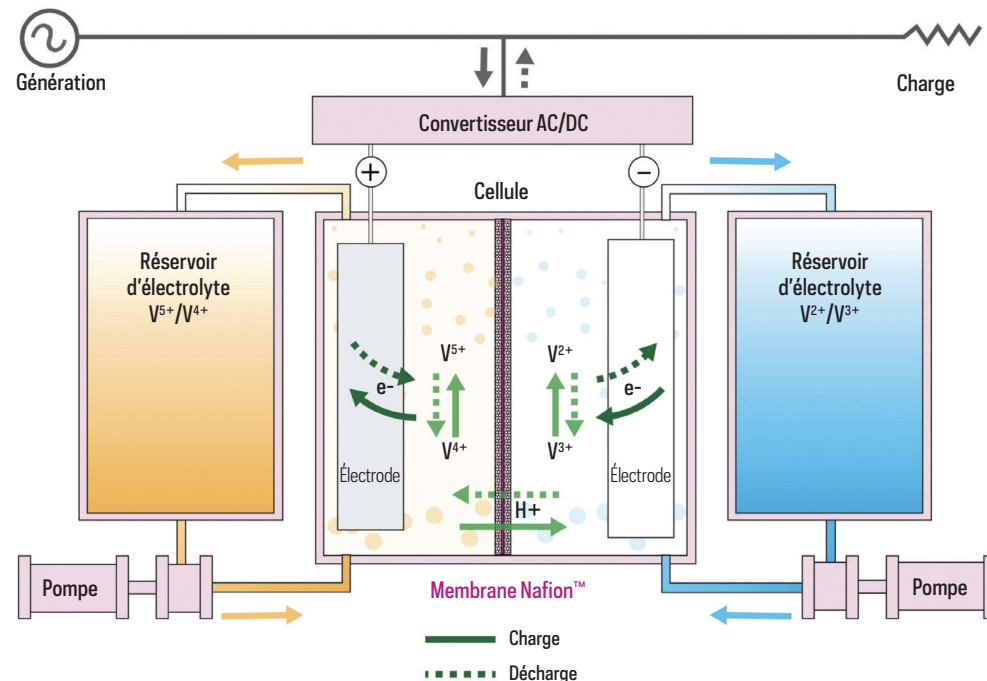
### Quel est le secret des performances et du rendement des batteries à flux ?

La clé pour obtenir les meilleures performances et le meilleur rendement d'une batterie à flux réside dans le choix de la membrane échangeuse d'ions.

L'évolution du stockage d'énergie

Les services publics et les entreprises doivent rechercher des batteries à flux dont les membranes présentent les caractéristiques suivantes :

- **Résistance** : Rechercher des membranes qui offrent une excellente stabilité chimique et physique dans des environnements rigoureux afin d'éviter toute dégradation au fil du temps.
- Faible résistance ionique : Rechercher des membranes qui offrent une résistance ionique minimale afin de s'assurer que les ions peuvent les traverser facilement.
- **Faible contamination croisée** : Rechercher des membranes qui empêchent le mélange des électrolytes positifs et négatifs (anode et cathode) car cela peut provoquer une décharge prématurée.
- **Coût** : Rechercher des membranes qui ont une longue durée de vie (égale ou supérieure à 20 ans) pour faire baisser le coût actualisé au fil du temps.





## Accélérer notre adoption du marché croissant de l'échange d'ions

Depuis plus de 50 ans, Nafion™ est leader sur le marché du stockage de l'énergie. Sa technologie de stockage d'énergie éprouvée a servi un large éventail d'applications électrochimiques dans les secteurs spatial, militaire, énergétique et autres. Les membranes Nafion™ sont aussi suffisamment puissantes pour répondre à la croissance rapide du marché mondial des batteries à flux, en particulier dans les applications de stockage d'énergie à l'échelle du réseau.

Ces dernières années, les batteries à flux redox (Redox Flow Batteries, RFB) ont attiré l'attention des chercheurs dans le domaine du stockage d'énergie en raison de leur sécurité, de leur possibilité de recyclage et de leur caractéristique unique d'utiliser un support de stockage d'énergie extensible. Chemours considère ces batteries à flux comme le prochain candidat innovant pour ses applications de stockage d'énergie Nafion™ à l'échelle du réseau car, par rapport aux batteries lithium-ion, les RFB ont l'avantage d'avoir une longue durée de vie (de 15 à 20 ans) et d'être ininflammables et peu toxiques.

Chemours poursuit l'expansion du marché que l'entreprise a inventé avec les membranes Nafion™ en fournissant :

### Stabilité chimique supérieure et conductivité des protons

La structure des membranes Nafion™ est composée d'une chaîne principale flexible et hydrophobe qui offre une excellente stabilité mécanique et chimique tandis que ses groupes dérivés fournissent une excellente conductivité des protons.

### Adaptabilité des systèmes d'électrolytes alternatifs

Grâce à notre base de connaissances solide ainsi qu'à notre expérience en tant que leader de l'industrie, les propriétés des membranes Nafion™, telles que la conductivité et l'échange d'ions, peuvent être adaptées à différents niveaux des techniques de traitement de monomères, de polymères et de membranes.

### Repousser les limites d'efficacité des systèmes

Les nouvelles membranes Nafion™ conçues pour les applications RFB devraient mieux répondre aux besoins du marché et de la communauté de recherche sur les RFB.

### Démonstré par une expérience de terrain à la pointe de l'industrie

Les membranes échangeuses d'ions Nafion™ ont servi de matériau de référence tant dans les RFB du commerce que dans les nouvelles technologies redox en développement.

### Autres avantages de Nafion™ pour les applications de batteries à flux

- Résistance électrique plus faible
- Faible taux d'autodécharge
- Propriétés mécaniques améliorées
- Réduction des échanges d'électrolytes
- Stabilité dans les environnements rigoureux
- Catalyseur super acide recyclable
- Excellent transport d'humidité

# Réinventons le marché de l'énergie grâce aux membranes Nafion™

Avec plus de 50 ans d'expérience, l'équipe en charge des membranes et dispersions Nafion™ possède le savoir requis pour aider nos clients à créer de l'hydrogène propre à partir de l'électrolyse de l'eau, contribuant ainsi à l'économie de l'hydrogène et à notre quête collective d'un monde plus sûr et plus durable. Aujourd'hui, les membranes Nafion™ offrent également des solutions de pointe pour le stockage de l'énergie, les piles à combustible, l'électrolyse de l'eau, la production de produits chimiques extrêmement purs ainsi que d'autres applications spécialisées.

## Les membranes Nafion™ de Chemours offrent :

### Stabilité chimique supérieure et conductivité des protons

La structure des membranes Nafion™ est composée d'une chaîne principale flexible et hydrophobe qui offre une excellente stabilité mécanique et chimique tandis que ses groupes dérivés fournissent une excellente conductivité des protons.

### Meilleur rendement, grâce à la réduction des pertes ohmiques

Comparé à d'autres technologies d'électrolyse de l'eau, Nafion™ fait ses preuves, notamment une plus grande fiabilité pour optimiser la productivité et le coût total de possession.

### Performance éprouvée grâce à une expérience de terrain inégalée dans l'industrie

Les membranes échangeuses d'ions Nafion™ ont servi de matériau de référence dans de nombreuses industries. Elles assurent un fonctionnement plus sûr, plus stable et nécessitant moins d'entretien par rapport aux autres technologies.



Les informations contenues dans le présent document sont fournies gratuitement et reposent sur des données techniques que Chemours juge fiables. Chemours n'offre aucune garantie, expresse ou implicite, et n'assume aucune responsabilité à l'égard de toute utilisation des présentes informations. Aucune disposition contenue dans le présent document ne doit être interprétée comme une concession de licence ou une incitation à contrevenir à un quelconque brevet ou une marque déposée.

© 2022 The Chemours Company FC, LLC. Nafion™ et tous les logos associés sont des marques déposées ou la propriété intellectuelle de The Chemours Company FC, LLC. Chemours™ et le logo Chemours sont des marques déposées de The Chemours Company.

C-11709 (12/22)

Il est temps d'embrasser le futur.  
Voulez-vous vous joindre à nous ?

Consultez le site **Nafion.com** ou contactez l'un de nos experts techniques :

États-Unis et Canada .....	+1 844 773 2436 ou +1 302 773 1000
Asie-Pacifique - Nord .....	+86 400 8056 528
Asie-Pacifique - Sud.....	+91 124 479 7400
Europe/Moyen-Orient/Afrique.....	+41 22 719 1500
Brésil .....	0800 110 728
Mexique .....	1 800 737 5623 ou +55 55 5125 4907 (DF)

### Autres avantages des membranes Nafion™ pour les applications d'électrolyse

- Durables
- Haute performance
- Fonctionnement dans des environnements à faible densité électrique
- Conservation des propriétés au fil du temps
- Adaptation parfaite aux applications utilisant des énergies renouvelables intermittentes

