

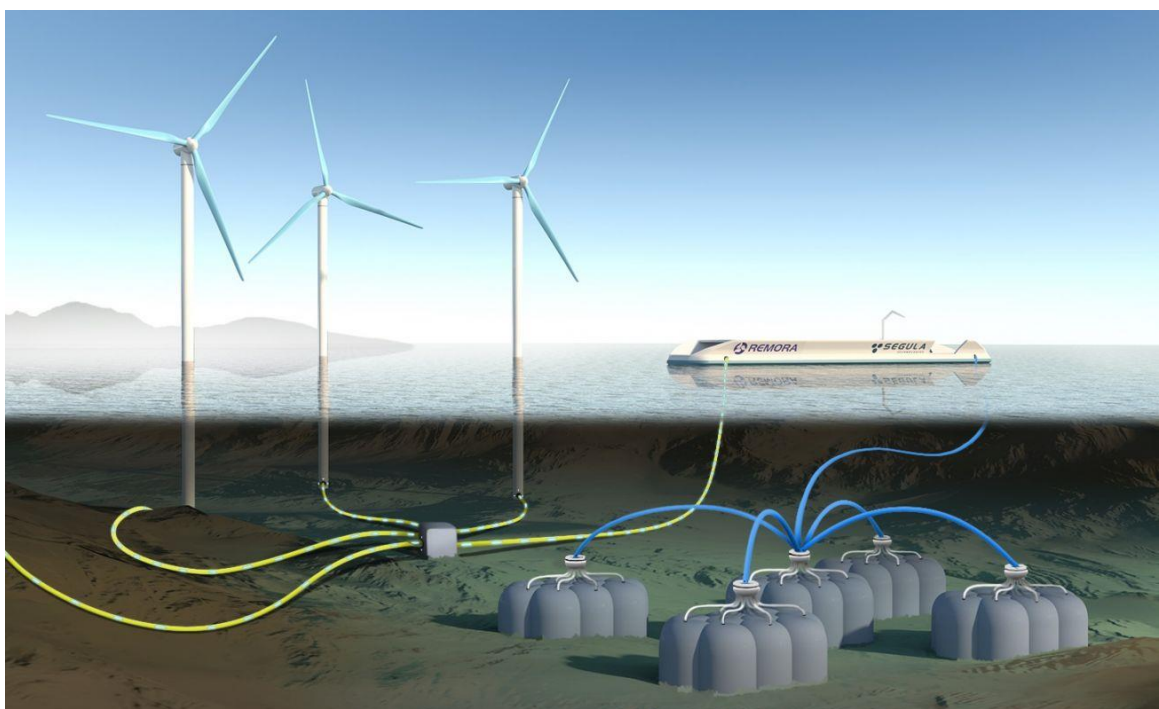
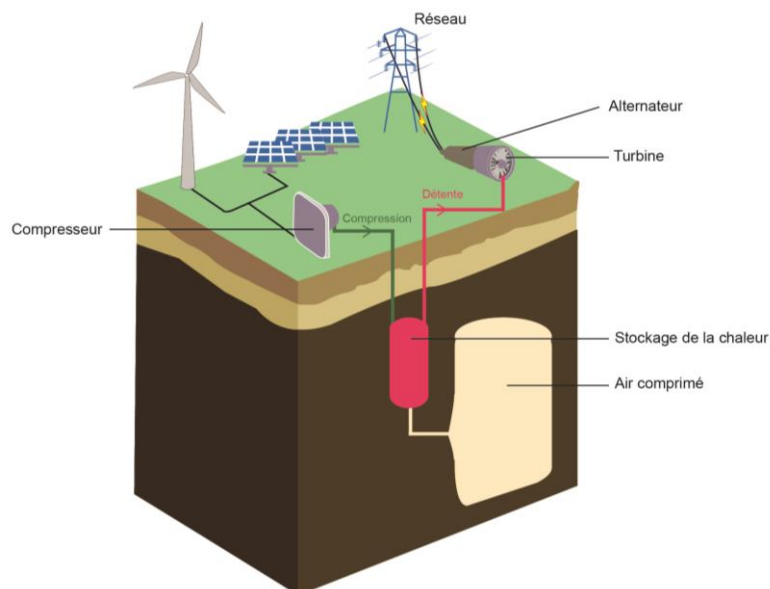
AIR COMPRIMÉ

AIR COMPRIMÉ



C'est quoi ?

Le stockage souterrain d'air comprimé [CAES] fait partie des solutions de stockage stationnaire de l'énergie électrique à très grande échelle. Ce type de stockage consiste à utiliser l'électricité excédentaire produite en heures creuses pour compresser de l'air à très haute pression et le stocker dans un réservoir. Pendant les heures de pointe, l'énergie potentielle stockée est libérée en détendant cet air comprimé dans une turbine qui entraîne un alternateur pour produire de l'électricité.

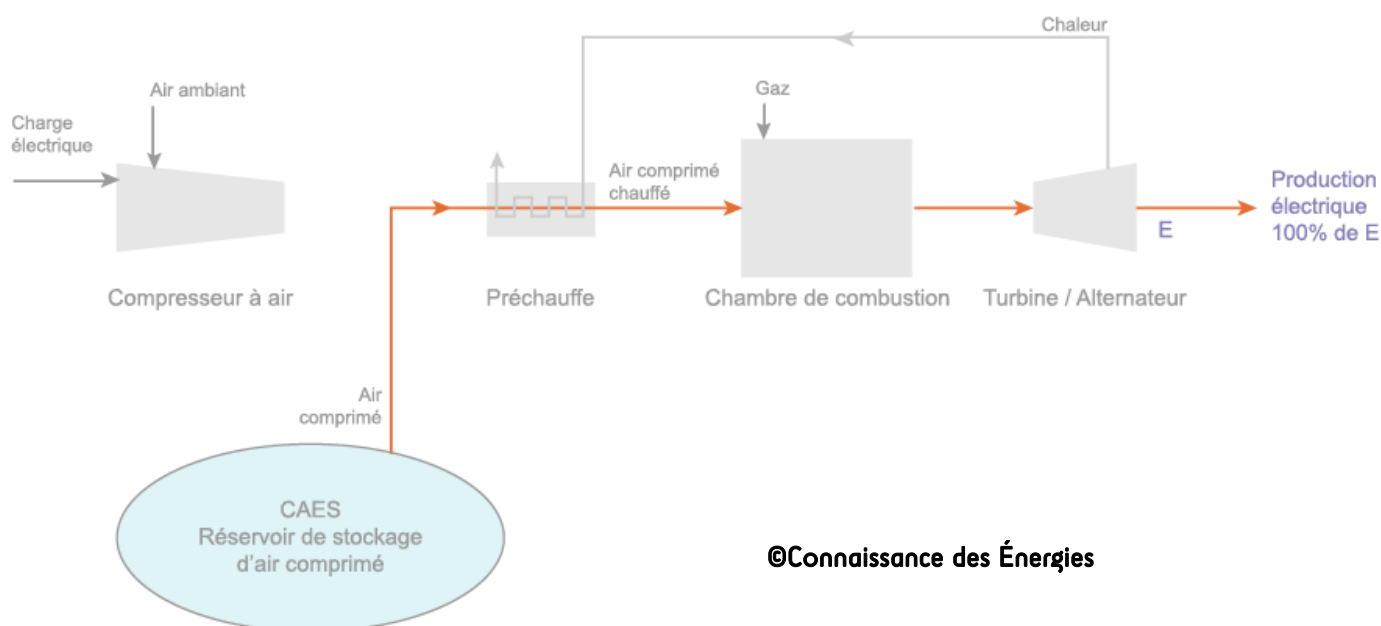


Comment ça fonctionne ?

Le « **CAES** », [de l'anglais Compressed Air Energy Storage] est un mode de stockage d'énergie par air comprimé, c'est-à-dire d'énergie mécanique potentielle, qui se greffe sur des turbines à gaz. Dans une turbine à gaz classique, de l'air ambiant est capté et comprimé dans un compresseur à très haute pression [100 à 300 bar]. Cette compression de l'air s'accompagne d'un échauffement pouvant aller jusqu'à quelques centaines de degrés. L'air chaud comprimé est injecté avec du gaz dans une chambre de combustion. Le mélange en sortie entraîne une turbine et un alternateur pour produire de l'électricité.

Une installation de stockage d'air comprimé comporte :

- un système de compression
- une unité moteur-générateur
- une turbine à gaz
- une ou plusieurs cavernes de stockage d'air comprimé



©Connaissance des Énergies

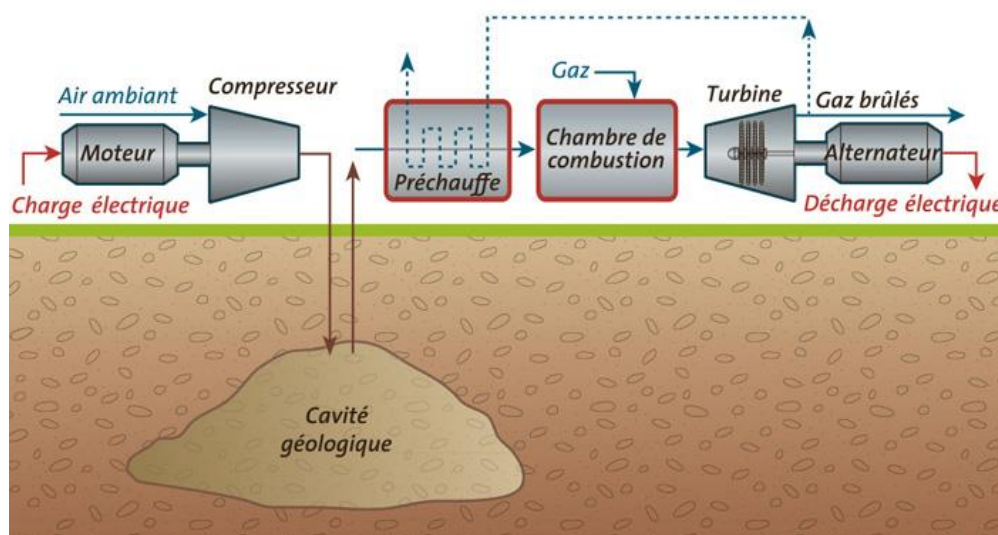
Le principe du CAES repose sur l'élasticité de l'air : l'électricité produite par les éoliennes et les panneaux solaires permet à des compresseurs de stocker l'air hautement comprimé sous terre. Lorsque l'on veut récupérer cette énergie potentielle, l'air comprimé est déchargé dans une turbine qui entraînera un alternateur. Cette étape nécessite un combustible pour détendre l'air [généralement du gaz naturel]. Du courant est alors produit et est ensuite réinjecté sur le réseau.

Il existe trois générations de CAES, classées selon les technologies utilisées et leur niveau de maturité :

CAES conventionnels

Ce réservoir pressurisé peut aller d'un simple tuyau de quelques mètres cubes à une caverne de plusieurs centaines de milliers de mètres cubes. Les puissances installées vont de quelques mégawatts [micro-CAES de l'ordre de 1 MW installées sur les réseaux de distribution] à plusieurs centaines de mégawatts [installations de forte puissance installées sur les réseaux de transport, fonctionnant pendant quelques heures].

Outre des cavités salines [CAES d'Huntorf Allemagne et de McIntosh en Alabama, Etats-Unis], d'autres sites géologiques de stockage sont envisageables et étudiés tels que d'anciennes mines, des roches poreuses et même des aquifères. Plusieurs projets ont été lancés aux USA notamment en liaison avec des fermes éoliennes.

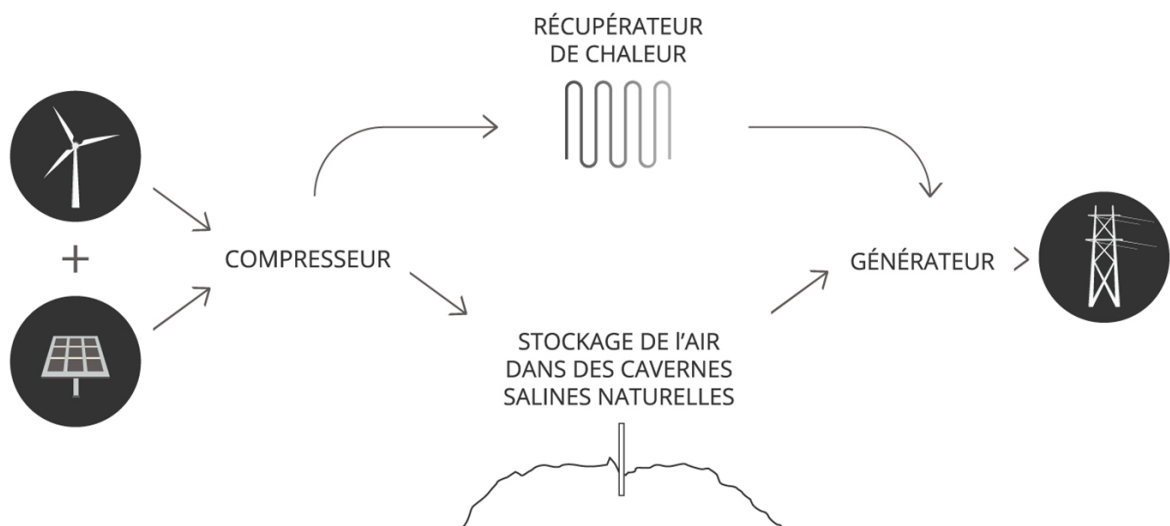


CAES d'Huntorf Allemagne

CAES adiabatiques

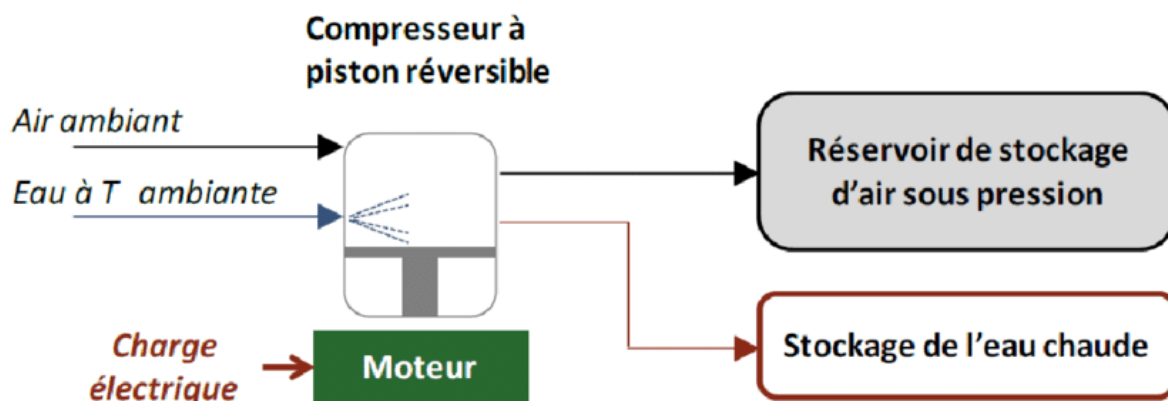
Un système est dit « adiabatique » quand il n'échange pas de chaleur avec l'extérieur. Les CAES adiabatiques sont donc semblables aux systèmes conventionnels mais incluent en plus un système permettant de stocker la chaleur. Face à la difficulté de créer un réservoir pouvant assurer en même temps le maintien en pression et en température de l'air, un second réservoir est utilisé pour stocker la chaleur.

Les CAES adiabatiques sont donc constitués d'un réservoir permettant de stocker l'air comprimé (semblable aux réservoirs des CAES conventionnels) et d'un système de stockage thermique récupérant la chaleur de l'air comprimé en sortie de compresseur. En phase de déstockage, cette chaleur est restituée à l'air comprimé avant le passage dans la turbine. Les CAES adiabatiques atteignent grâce à ce système une efficacité de l'ordre de 70%.



CAES isothermes

Encore au stade du prototype, les systèmes CAES isothermes relèvent des dernières innovations ayant pour but d'augmenter l'efficacité des CAES. Un processus est dit « isotherme » lorsque la température du système considéré est uniforme et constante. Un CAES isotherme consiste donc à extraire la chaleur de l'air au fur et à mesure de sa compression [et non pas après sa compression comme dans le cas des systèmes adiabatiques]. Ce système aurait une efficacité de l'ordre de 95% pour le système détenteur/compresseur.

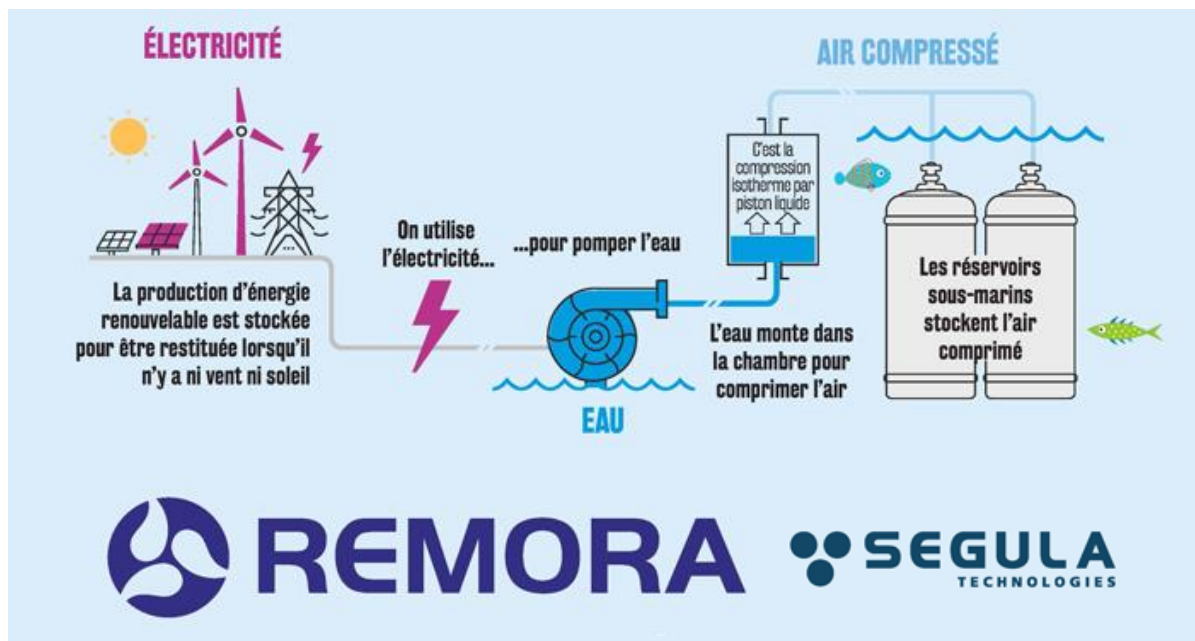


Projet Gaelectric, Larne Irlande CAES isotherme .Ce projet est censé généré jusqu'à 330 MW d'énergie pendant 6 heures. Soit le tiers de la production d'une centrale à charbon, grâce à de l'énergie verte et de l'air comprimé.

Stockage de l'électricité par air comprimé en mer REMORA©

Le groupe d'ingénierie français Segula développe une autre technique. Baptisée Remora, elle est spécifiquement destinée à stocker l'électricité produite par les parcs éoliens offshore. L'idée est de faire de l'eau de mer et de la pression sous-marine un atout.

Le principe de la compression isothermique imaginée par les chercheurs est celui du « piston liquide » : l'électricité produite par les éoliennes est utilisée pour pomper l'eau de mer dans des chambres de compression flottantes, lesquelles envoient l'air comprimé vers des réservoirs de 200 à 500 m³ reposant sur le fonds marin entre 100 à 150 mètres sous la surface. A cette profondeur, la pression est comprise entre 10 à 15 bars. La pression de l'eau aide à contenir la pression à l'intérieur des réservoirs.



REMORA © SEGULA

Lorsque l'énergie doit être réinjectée sur le réseau, il suffit d'inverser le processus : l'air comprimé, en se détendant, repousse l'eau au travers des turbines, lesquelles génèrent de l'électricité comme dans les centrales hydroélectriques de pompage-turbinage. La technique ne nécessite donc aucun stockage de chaleur. Le rendement de ce procédé de stockage pourrait atteindre 70%.



AVANTAGES

- Economique : la phase de stockage a lieu pendant les heures creuses lorsque l'électricité est moins chère et la phase de déstockage a lieu pendant les heures de pointe afin de revendre de l'énergie lorsqu'elle atteint son prix maximal.
- Augmentation de l'énergie fournie au réseau en heure de pointe.

INCONVENIENTS

- Faible rendement sur les installations existantes : 40%.
- Les turbines à gaz sont sensibles au sel contenu dans l'air de combustion.
- Le seul air comprimé ne suffirait pas à alimenter suffisamment la turbine, il faut une énergie complémentaire comme le gaz [énergie fossile].
- Il faut bien dimensionner les cavités du sous-sol en fonction de l'installation en surface.
- Pour les grandes installations, des cavernes naturelles peuvent être utilisées, à condition qu'elles ne fuient pas. Sinon, il faut creuser des réservoirs artificiels dans le sol et étudier soigneusement les revêtements des parois, qui doivent résister à la fois aux pressions, aux températures et à la corrosion.

Pour en savoir plus :

<https://youtu.be/hk900rlqVbU>

<https://www.revolution-energetique.com/remora-une-technique-innovante-de-stockage-denergie-en-mer-par-air-comprime/>

<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/caes-stockage-par-air-comprime>

<https://www.segulatechnologies.com/fr/innovation/projet/remora/>