



geostock

The international key player in underground storage

Panorama du stockage souterrain de l'énergie

Patrick de Laguérie

**Stockage Souterrain pour l'Énergie
et l'Environnement**

Ecole des Ponts – Paristech

Le 25 novembre 2014





- **Quels produits stocke t'on**
- **Techniques de stockage**
- **Rôle des stockages**
- **Les stockages en France et dans le Monde**
- **Éléments économiques**
- **Nouvelles Energies - tendances**



Quels produits stocke t'on?

- **Très majoritairement des hydrocarbures**
 - **Gaz naturel**
 - **Liquides: brut, essence, gazole, naphta, etc**
 - **Gaz liquéfiés: propane, butane**
 - **Ethylène, propylène, éthane**
- **Mais aussi**
 - **Air comprimé**
 - **Hydrogène**
 - **Déchets industriels (en vrac ou en colis)**
 - **Effluents: Class 1 to 6 wells**
 - **Déchet radioactifs: en colis**
 - **Séquestration du CO₂: sous pression, supercritique**



Principaux hydrocarbures

- **Liquides:** pétrole brut, produits raffinés: essences, gazole, naphta

- **Gaz Liquéfié:**

	Pressurisé	Cryogénique
propane:	15°C et 8bar	-45°C et 1bar
butane	15°C et 3 bar	-5°C et 1 bar

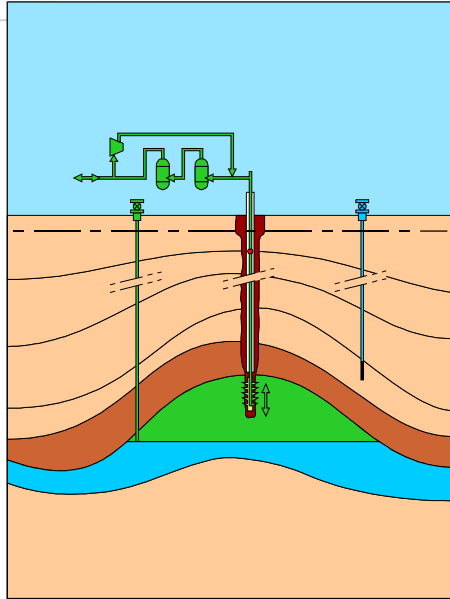
- **Gazeux:** Gaz naturel (>80% de CH₄)
 - **Liquide uniquement à très basse température: GNL -162°C**
 - **Gazeux : 1Nm³ = 10,5kWh 1000Nm³= 0,9Tep**

- **Ethylène, Ethane,**

TECHNIQUES DE STOCKAGE



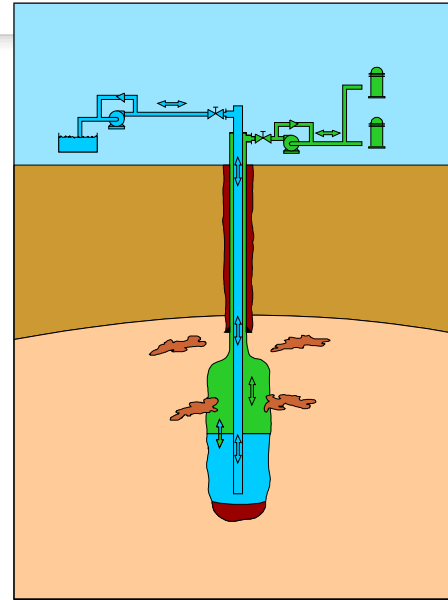
geostock



AQUIFERES CHAMPS DEPLETES

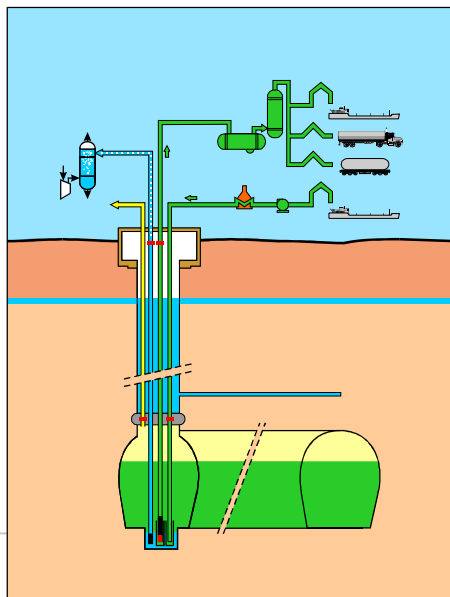
Gaz naturel
Déchets (injection
wells)

Demain:
CO₂,
air comprimé ??



CAVITES LESSIVEES DANS LE SEL

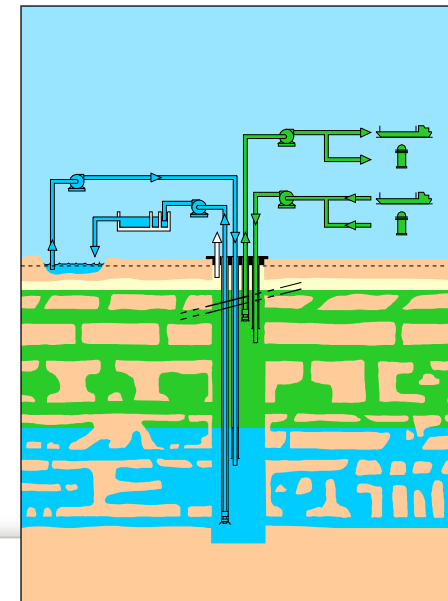
Gaz naturel
Pétrole brut et raffiné
GPL
Air comprimé
Hydrogène



CAVITES MINEES

GPL
Pétrole brut et raffiné

Demain:
gaz naturel,
air comprimé?



MINES ABANDONNEES

Produits liquide
Gaz naturel

Demain:
Air comprimé



- **1915 Première expérience sur un gisement (Ontario, Canada)**
- **1916 Premier stockage en gisement déplété (Zoar, Buffalo, Etat de New-York, Etats-Unis)**
- **1940 Premier stockage de liquide en cavités salines**
- **1946 Premier stockage en aquifère (Kentucky, Etats-Unis)**
- **1954 Premier stockage en Europe (Allemagne)**
- **1961 Premier stockage de gaz en cavités salines (Michigan, Etats-Unis)**
- **1963 Premier stockage en mine abandonnée (Colorado, Etats-Unis)**
- **Gaz naturel**
 - **11 sites en 1930, pour un volume utile de 500 millions de m³**
 - **75 sites en 1945, pour un volume utile de 12 milliards de m³**
 - **Aujourd'hui, plus 600 sites environ pour un volume utile de 310 milliards de m³**



et en France

Nom	Année	Produit	Nature
Beynes sup	1956	Gaz naturel	Aquifère
Lussagnet	1957	Gaz naturel	Aquifère
Carresse	1962	Propane	Cavité salines
Saint Illiers	1965	Gaz naturel	Aquifère
Chémery	1968	Gaz naturel	Aquifère
Manosque	1969	Petrole brut	Cavités salines
Cerville	1970	Gaz naturel	Aquifère
Tersanne	1970	Gaz naturel	Salin
May/orne	1970	Gazole...	Mine de fer abandonnée
Etc.			...



LE ROLE DU STOCKAGE SOUTERRAIN

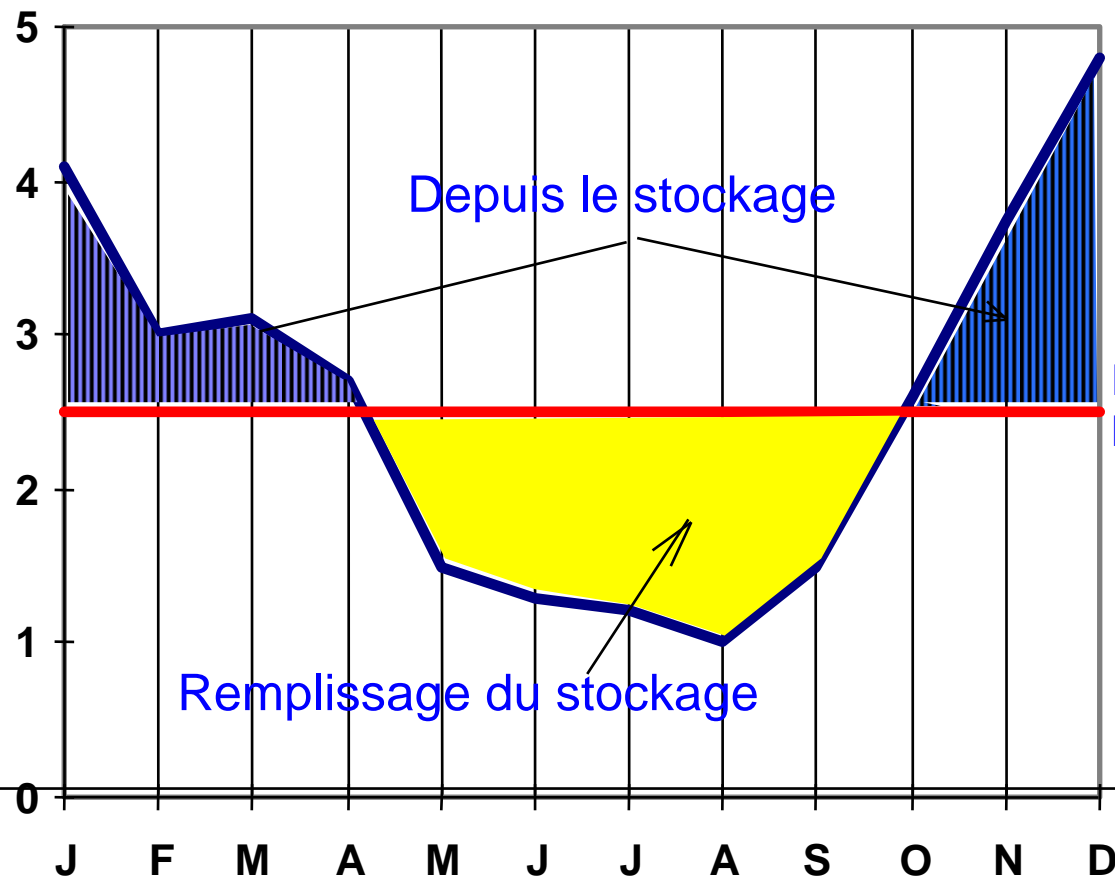


- **Stockage stratégique: crise de Suez, la loi (et l'AIEA) impose aux pétroliers (yc les distributeurs: hypermarchés etc.) 3 mois de réserve : pétrole brut surtout, produit raffinés aussi**
- **Stockage saisonnier et de sécurité d'approvisionnement : gaz naturel**
- **Stockage pour écrêtage des pointes : gaz naturel**
- **Stockage opérationnel:**
 - **Au pied des terminaux de réception: principalement GPL et GNL**
 - **Stock tampon et de sécurité pour les raffineries et la consommation : pétrole brut et raffiné**
- **Stockage spéculatif**
- **Stockage « d'électricité » : air comprimé, hydrogène**



VARIATION SAISONNIERE DE LA CONSOMMATION DE GAZ NATUREL

$10^6 \text{ m}^3/\text{mois}$



En France les stockages assurent plus de 50% de la consommation en hiver

Niveau moyen de la consommation

Depuis le stockage

Remplissage du stockage

mois



Les stockages de gaz naturel: "hubs" du réseau de transport



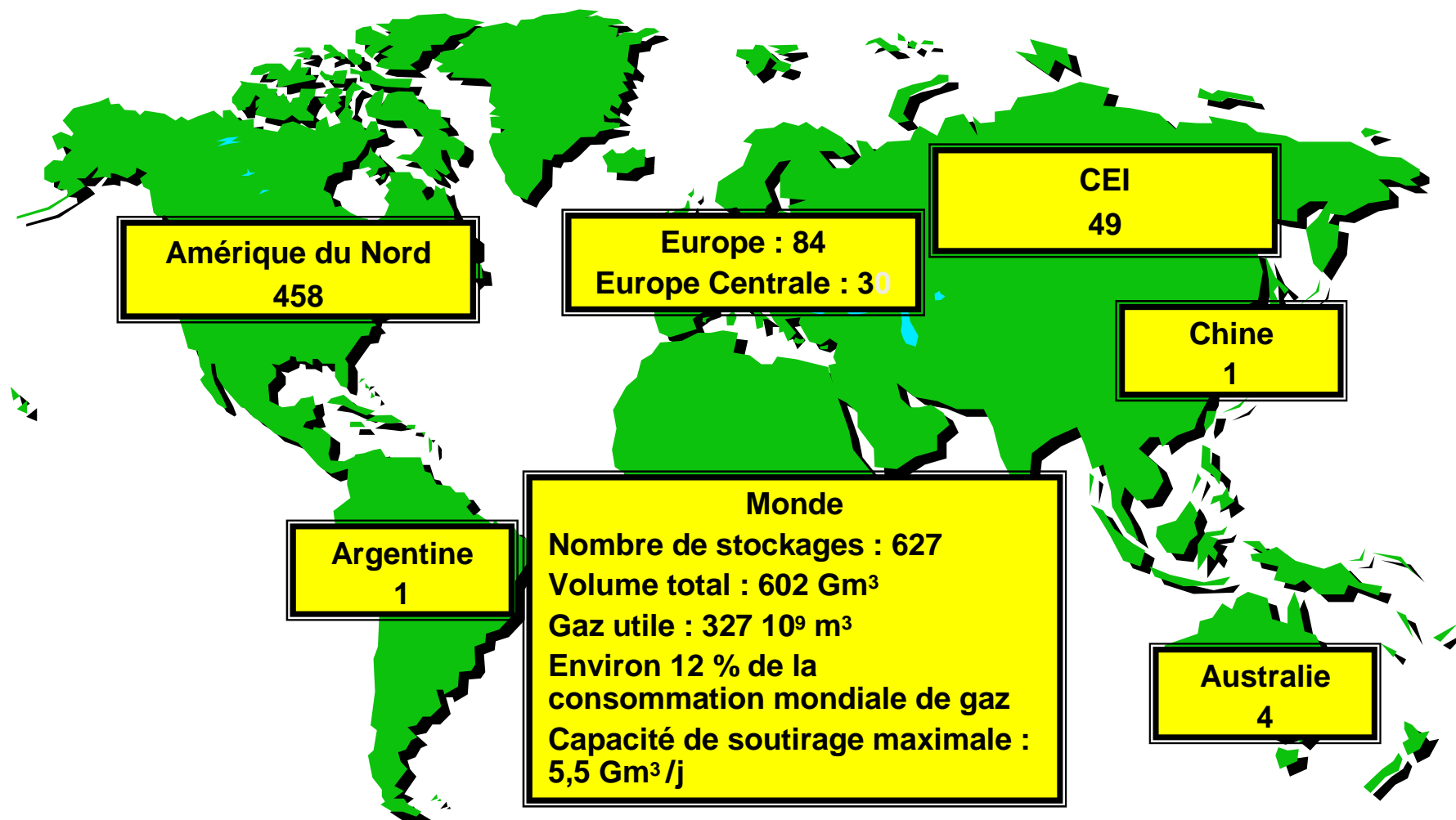


Stockages souterrains d'hydrocarbures dans le monde



- **Stockage de gaz naturel : plus de 600 sites de stockage**
- **Stockage de pétrole brut et produits raffinés: une cinquantaine de sites cavités salines principalement mais aussi cavités minées (Scandinavie, et projets en cours enAsie)**
- **Stockage de GPL : une cinquantaine de sites : cavités minées et cavités salines**

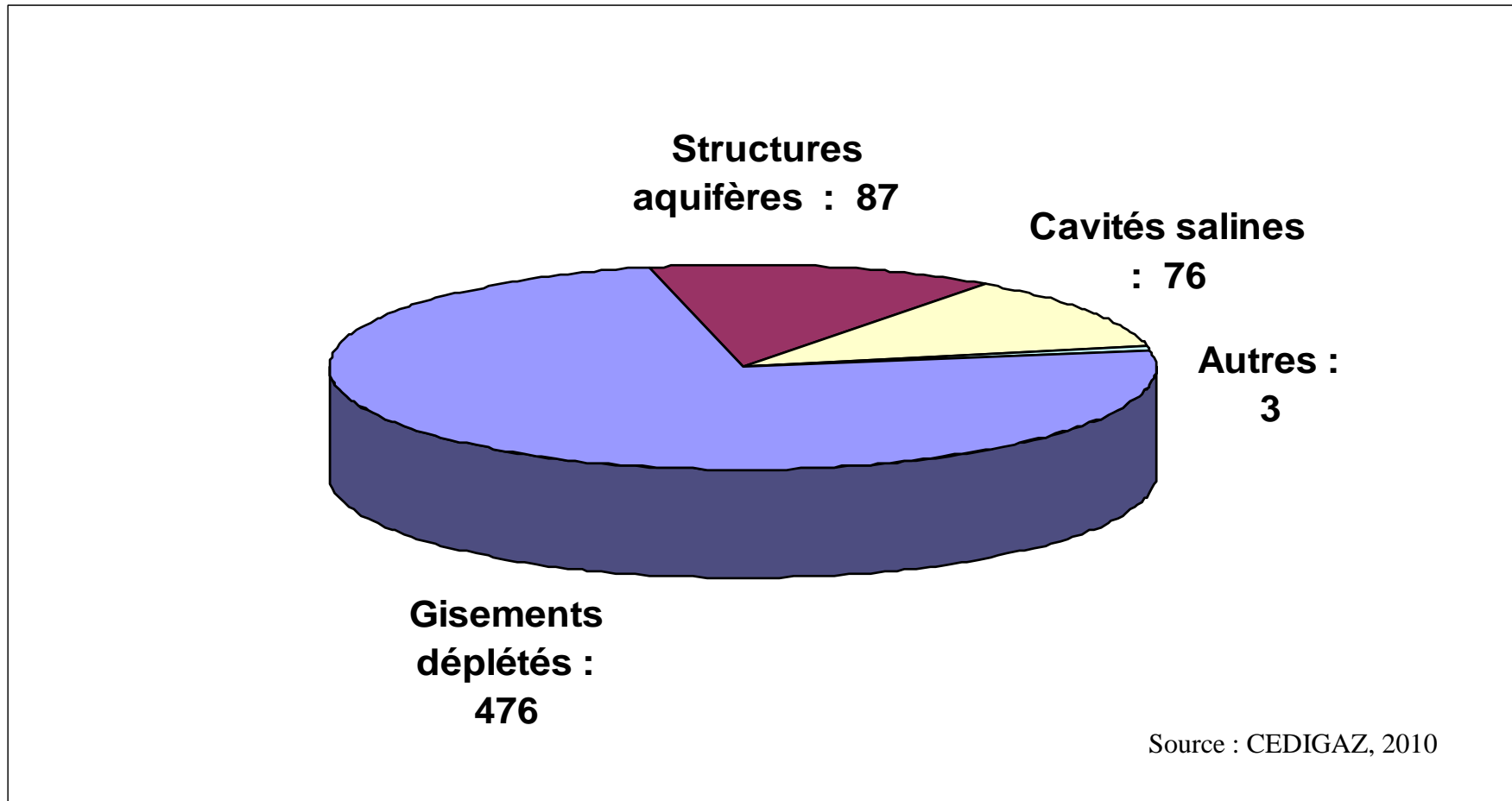
Les stockages souterrains de gaz naturel dans le monde





Stockage de gaz naturel dans le monde

Répartition par type de stockage

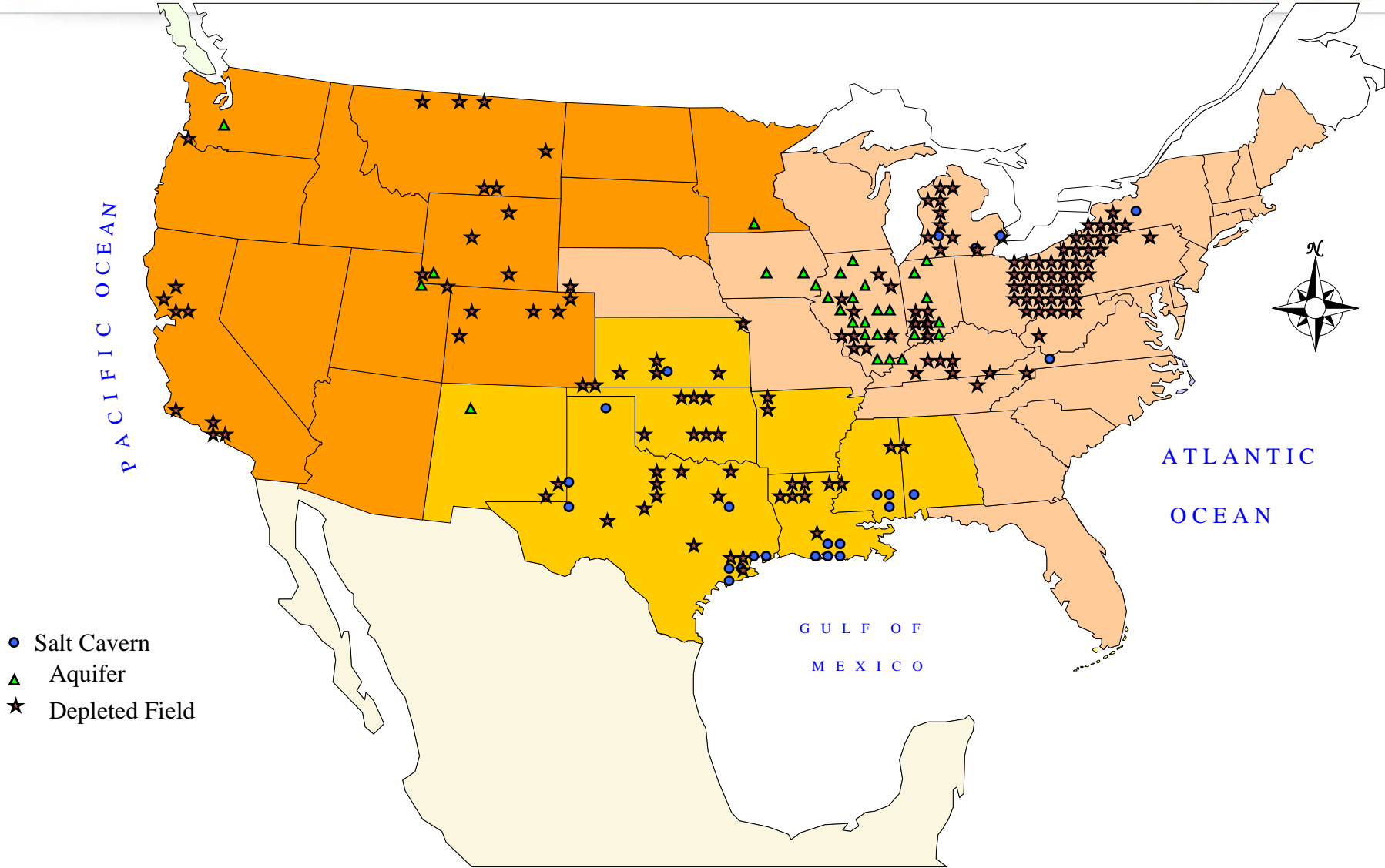




UNITED STATES UNDERGROUND STORAGE



geostock





EUROPE UNDERGROUND STORAGE OF NATURAL GAS



geostock

- Rock Cavern
- Salt Cavern
- ▲ Aquifer
- ★ Depleted Field



Sines



Les stockages souterrains d'hydrocarbures en France



- Stockage en nappe aquifère (□ en projet)
- Stockage en gisement déplété (○ en projet)
- △ Stockage en cavité saline
- ▾ Stockage en cavité minée (▾ en projet)
- ◇ Stockage en mine abandonnée (arrêté)

- Gaz naturel
- Hydrocarbures liquides
- Propylène
- GPL
- Éthylène



- **Il existe une centaine de stockage en cavité minée dans le monde, principalement pour du GPL et pour des produits liquides.**
- **Etats unis, Scandinavie, France, Corée du Sud, Chine, Japon**
- **Tendance actuelle: Stabilité du GPL, intérêt de l'Asie pour le stockage stratégique donc course au gigantisme: projet de 1 à 3 millions de m³: Singapour, Chine, Inde ...**



Stockage stratégique de produits liquides



- **USA : Stratégic Petroleum Reserve**
 - 110 million m³ – 4 sites cavités salines Bryan Mound et Big Hill au Texas, West Hackberry et Bayou Choctaw en Louisiane
- **Allemagne : NWKG**
 - 4 sites cavités salines brut et liquides : environ 10 Mm³
- **France: GEOSEL – SAGESS**
 - 30 cavités de brut et produits raffinés Manosque, - 7 Mm³ stockés pour principalement pour le compte de SAGESS
- **UK : 1 site brut abandonné**
- **Asie (en cours) : des cavités minées de 1 à 3 Mm³
Inde , Singapour, Chine**



Situation en France



geostock

- **Manosque: 28 cavités de brut et de produits raffinés**
- **Grand Serres -Hauterives: 1 cavité de propylène**
- **Viriat: 1 cavité d'éthylène**
- **Caresse – Salies de Béarn: 3 cavités de propane en cours d'abandon**



Stockage Injection de déchets " L'exception américaine" : Injection wells



geostock

The screenshot shows the EPA website's navigation and content for 'Classes of Wells'. The top navigation bar includes 'LEARN THE ISSUES', 'SCIENCE & TECHNOLOGY', 'LAWS & REGULATIONS', and 'ABOUT EPA'. A search bar is located on the right. The main content area features a breadcrumb trail: 'You are here: Water » Our Waters » Ground Water » Underground Injection Control » Classes of Wells'. The page title is 'Classes of Wells'. Below the title, there is a paragraph explaining that the page describes six categories of injection wells and their national inventory. A second paragraph states that the six classes are based on similarity in fluids injected, activities, construction, injection depth, design, and operating techniques. A table follows, listing six classes with their uses and inventories. A sidebar on the left contains a navigation menu with categories like 'Water Home', 'Drinking Water', 'Education & Training', 'Grants & Funding', 'Laws & Regulations', 'Our Waters', 'Pollution Prevention & Control', 'Resources & Performance', 'Science & Technology', 'Water Infrastructure', and 'What You Can Do'.

Water: Underground Injection Control [Contact Us](#) [Share](#)

You are here: [Water](#) » [Our Waters](#) » [Ground Water](#) » [Underground Injection Control](#) » [Classes of Wells](#)

Classes of Wells

This page describes the six categories or "classes" of injection wells, along with the estimated national inventory for each class.

The six classes are based on similarity in the fluids injected, activities, construction, injection depth, design, and operating techniques. This categorization ensures that wells with common design and operating techniques are required to meet appropriate performance criteria for protecting [underground sources of drinking water \(USDWs\)](#).

Classes	Use	Inventory
Class I	Inject hazardous wastes, industrial non-hazardous liquids, or municipal wastewater beneath the lowermost USDW	680 wells
Class II	Inject brines and other fluids associated with oil and gas production, and hydrocarbons for storage.	172, 068 wells
Class III	Inject fluids associated with solution mining of minerals beneath the lowermost USDW.	22,131 wells
Class IV	Inject hazardous or radioactive wastes into or above USDWs. These wells are banned unless authorized under a federal or state ground water remediation project.	33 sites
Class V	All injection wells not included in Classes I-IV. In general, Class V wells inject non-hazardous fluids into or above USDWs and are typically shallow, on-site disposal systems. However, there are some deep Class V wells that inject below USDWs.	400,000 to 650,000 wells Note: an inventory range is presented because a complete inventory is not available.
Class VI	Inject Carbon Dioxide (CO2) for long term storage, also known as Geologic Sequestration of CO2	6-10 commercial wells expected to come online by 2016. (Interagency



Reference cost

Type of storage	Working Volume Million cm	Typical investment Million € (*)	Lead Time
Aquifers	2,500	800	10 - 12 years
Depleted field	2,500	700	5 - 8 years
Salt cavity	200	160	1 - 5 years

- Source: Clingendael – the European market for seasonal storage 2006

**Cushion gas included (0,1EUR/cm)*



La commercialisation du stockage

geostock

3 opérateurs: STORENGY, TIGF, GEOMETHANE
Tarifs négociés (régulés) -





TARIFS 2014/2015 STORENGY



geostock

PRODUITS



PRODUITS COMMERCIALISÉS EN 2014/2015 DANS LE CADRE DU PROCESSUS D'ALLOCATION

Les produits commercialisés dans le cadre du processus d'allocation sont rattachés aux gammes Serene, Sediane et Saline.

Produits	Nombre de Jours Nominal d'injection	Nombre de Jours Nominal de soutirage
Serene Nord	107	88
Serene Sud	111	90
Sediane Nord	75	40
Serene Littoral	111	90
Sediane B	140	54
Saline	107	18

Ce sont des produits standards avec facteurs de réduction et tunnel de stock.

Voir le  catalogue des produits 2014/2015

PRIX 2014-2015 DES PRODUITS CATALOGUE

Produit	Prix du terme fixe (€ par an et par MWh) (PURC)	Prix du terme fixe minimum accessible(*) (€ par an et par MWh) (PURC)
Serene Nord		
Serene Sud	4,66	4,43
Serene Littoral		
Sediane	7,7	7,32
Sediane B	7,3	6,94
Saline	13,78	13,09

Prix du terme variable (€/MWh)

Injection (PUQI)	Soutirage (PUQS)
0,35	0,12

(*) Remise : 2 % pour une réservation sur 2 ans,
5 % pour une réservation sur 3 ans



Densité énergétique des produits



geostock

Produit	Densité	Densité énergétique En kWh/m ³ de vide	Rotation du stock
Gazole, pétrole brut	1 m ³ = 0,85t	10 000	Stratégique: tous les 10 ou 20 ans?
GPL	1m ³ = 0,55t	7000	1 à 5 par an
Gaz naturel	60b – 180b 120nm ³ /m ³	1300	1 à 2 par an mais tendance à augmenter
Hydrogène	60b – 180b 120nm ³ /m ³	300	? À définir
Air comprimé	20b – 40 b	3	1 par jour



Nouvelles énergies (stockage d'électricité verte, ou non)



- **Air comprimé: énergie mécanique**
 - (Seulement!) deux réalisations en service depuis les années 70/80: Huntorf en Allemagne et Mackintosh (USA - Alabama)
 - Nombreux projets d'études : projets SEARCH (GDF, STORENGY, Ecole des Mines etc) SACRE (EDF, LMS, GEOSTOCK etc)
 - Allemagne : projet ADELE (pilote) ??
 - USA: plusieurs projets du DOE mais pas encore de réalisation
 - Avenir court/moyen terme: CAES de petit volume?

- **Hydrogène - Matière première pour la chimie**
 - Il existe aujourd'hui une cavité au UK et trois cavités aux USA (Texas)

- **Hydrogène - Energie**
 - Etudes en cours mais pas (encore) d'installation industrielle
 - Les unités de production actuelles sont de taille très réduite
 - La consommation est confidentielle
 - Avenir moyen terme: injection de H2 dans les réseaux et les stockages de gaz naturel



- **Pays industrialisés: Europe, Amérique du Nord:** -
 - Développement modéré mais encore assez soutenu par le gaz naturel, en particulier stockage avec cyclage rapide (cavités salines)
 - gros marché pour la rénovation/prolongation des stockages existants (> 30 ans)

- **Asie**
 - Stockages stratégiques (Cavités Minées) : Inde, Chine, Singapour,
 - Chine : nouvel eldorado pour le gaz naturel?

- **Air comprimé, hydrogène: projets de demain ou après demain?** Cadre réglementaire et modèle économique à trouver