



Colloque ATEE

*La production d'EnR électriques, et après
...le STOCKAGE*

Projet HYGREEN PROVENCE et stockage massif H2

◆ 3 Domaines d'Activités Stratégiques



◆ 3 types de Territoires

Urbains et
métropolitains

Ruraux et de montagne

Insulaires et isolés

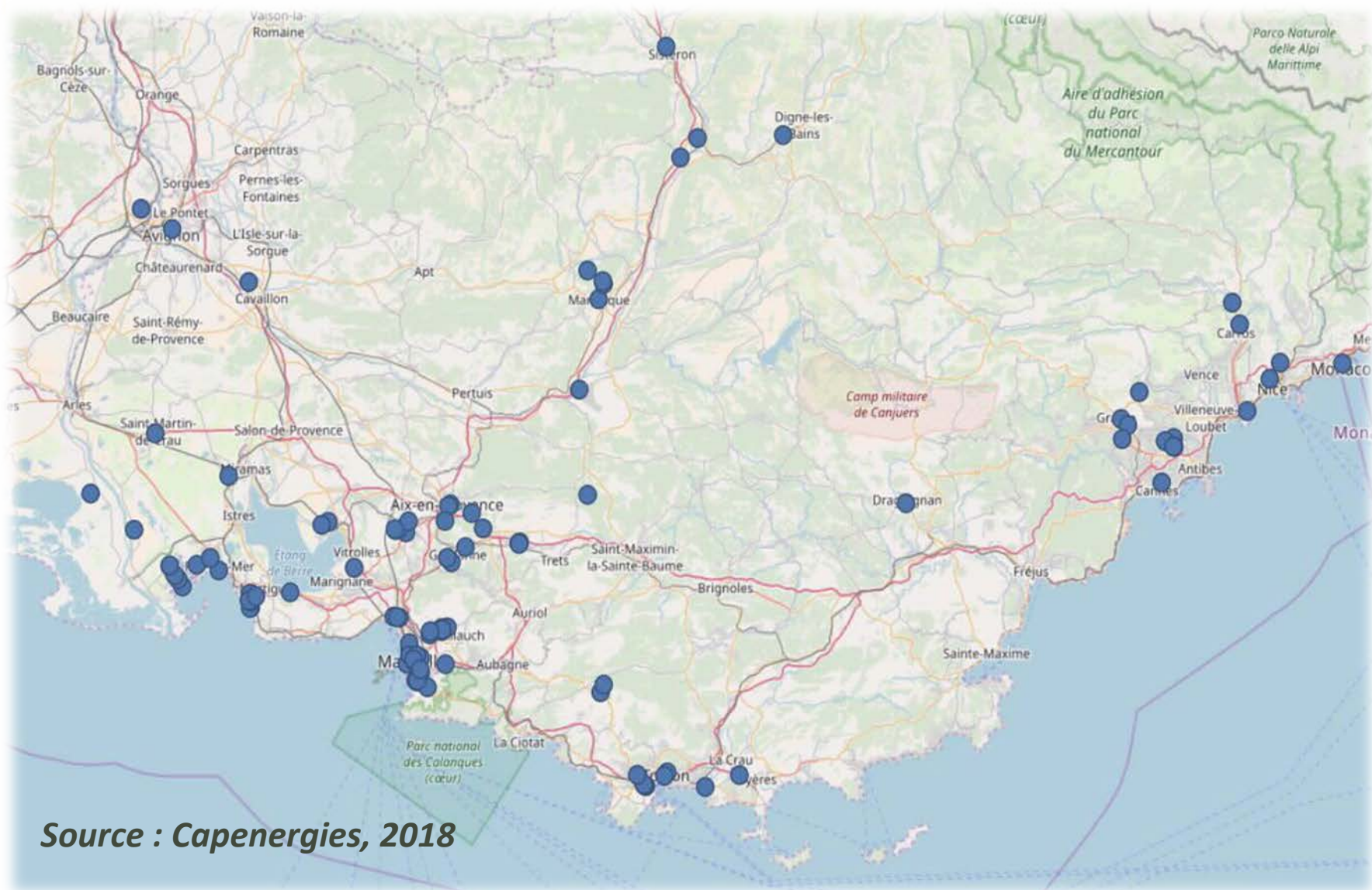
◆ Animation d'un réseau dynamique :

- ◆ Sur **5 territoires associés** : Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corse, Principauté de Monaco, Guadeloupe et Réunion
- ◆ **530 membres** (entreprises, centres de recherche, organismes de formation, investisseurs)
- ◆ **1 800 partenaires projets**

CAPENERGIES ET LE SUJET HYDROGÈNE

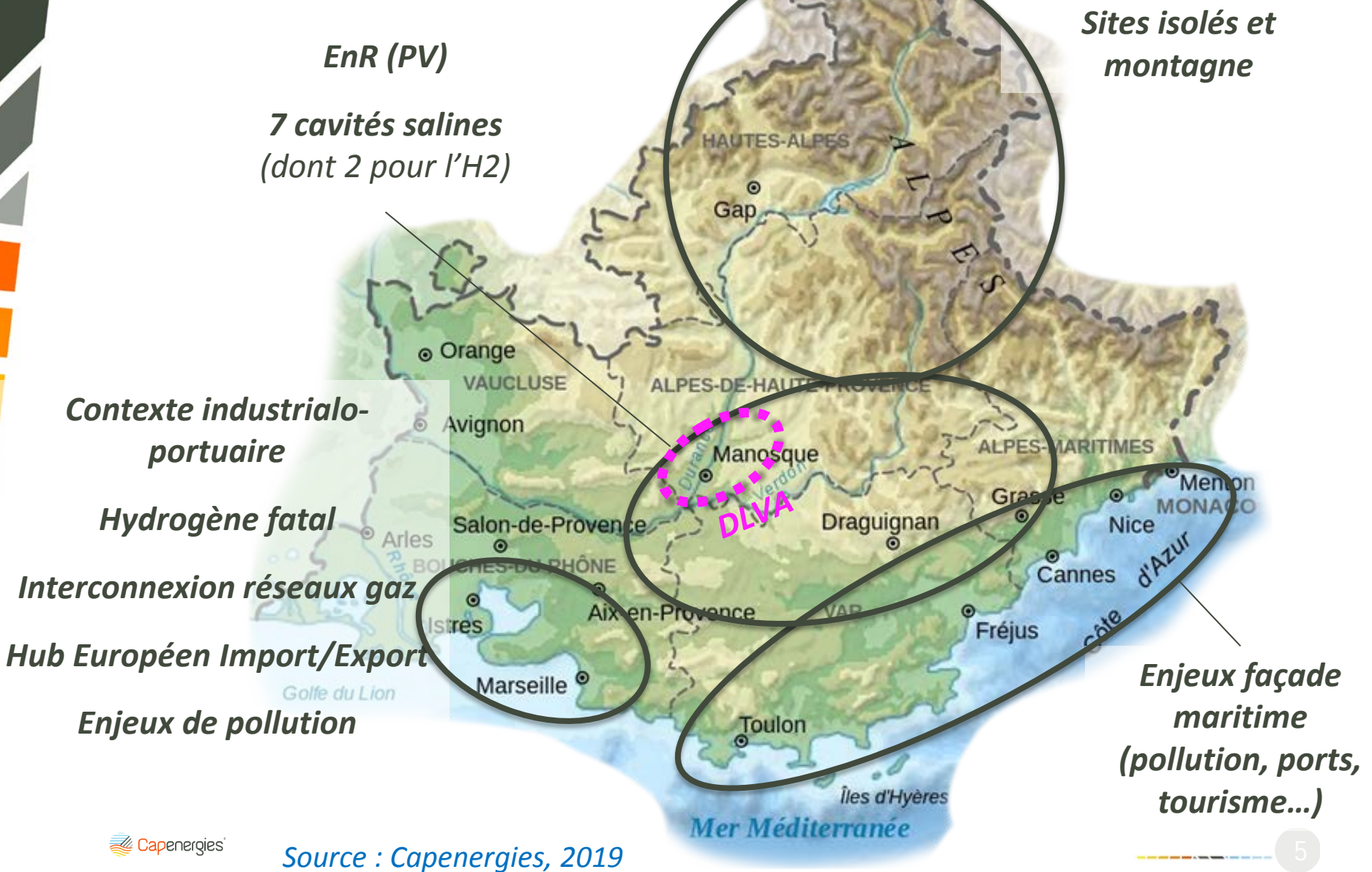
- ◆ Création et animation du « Club H2 PACA »
 - ◆ Synergies entre les acteurs H2 (~100 acteurs impliqués)
 - ◆ Synergies entre les projets H2 en cours et à venir
 - ◆ Montage et financement de projets d'innovation
 - ◆ Opportunités de déploiement industriel et commercial de solutions H2
- ◆ Animation de l'écosystème régional H2 (via financement Région)
- ◆ Accompagnement de projets H2 (depuis 2015 : ~20 projets pour 150 M€ de budget mobilisé et 20 M€ d'aides obtenues)
- ◆ AMOA sur projets territoriaux H2 (HYGREEN Provence, HYNVOAR...)
- ◆ Vision stratégique internationale via Paul Lucchese (AIE / G20)
- ◆ Travaux sur le P2G (veille et colloque international)
- ◆ Lien avec les financeurs et institutionnels (ADEME, Ministères, Région...)

UN ÉCOSYSTÈME DYNAMIQUE EN RÉGION SUD-PACA



Source : Capenergies, 2018

CONTEXTE H2 EN RÉGION SUD-PACA / HYGREEN



HYGREEN PROVENCE - UN PROJET EXCEPTIONNEL, SUR UN TERRITOIRE D'EXCEPTION



Une opportunité de développer un projet constituant le premier maillon à grande échelle, au niveau national, d'une filière "hydrogène vert", en ligne avec les orientations de la prochaine PPE, et s'appuyant sur des investissements de 1 Mds € par des opérateurs privés, en liaison avec DLVA.



USAGES ENVISAGÉS - H2 VERT MASSIF

- Travaux en cours pour voir utilisation des infrastructures existantes
- Vers un tarif d'achat réglementé ?

Injection H2
dans réseau
GN et/ou
méthanation



Mobilité

HyGreen
Provence



Flexibilité
réseau
électrique



Avitaillement
en H2 vert
d'industriels

- Capacités de stockage massif (H2)
- Profils besoin « électrique » / « gaz » potentiellement complémentaire

- Fort potentiel local et régional
- Valeur ajoutée de l'H2 vert

USAGES ENVISAGÉS - MOBILITÉ À L'H2 VERT

- Stations d'avitaillements pour 1 à 2 bus (d'ici 2020) et jusqu'à 50 bus/cars (2030)
- Lien avec stratégie bus/cars région Sud-PACA

Mobilité
Bus



Remarque :

Envisageable d'amorcer par le GNV qui se verdirait progressivement par adjonction d'H2 ou par méthanation avant d'aboutir aux véhicules PAC



Mobilité
ferroviaire



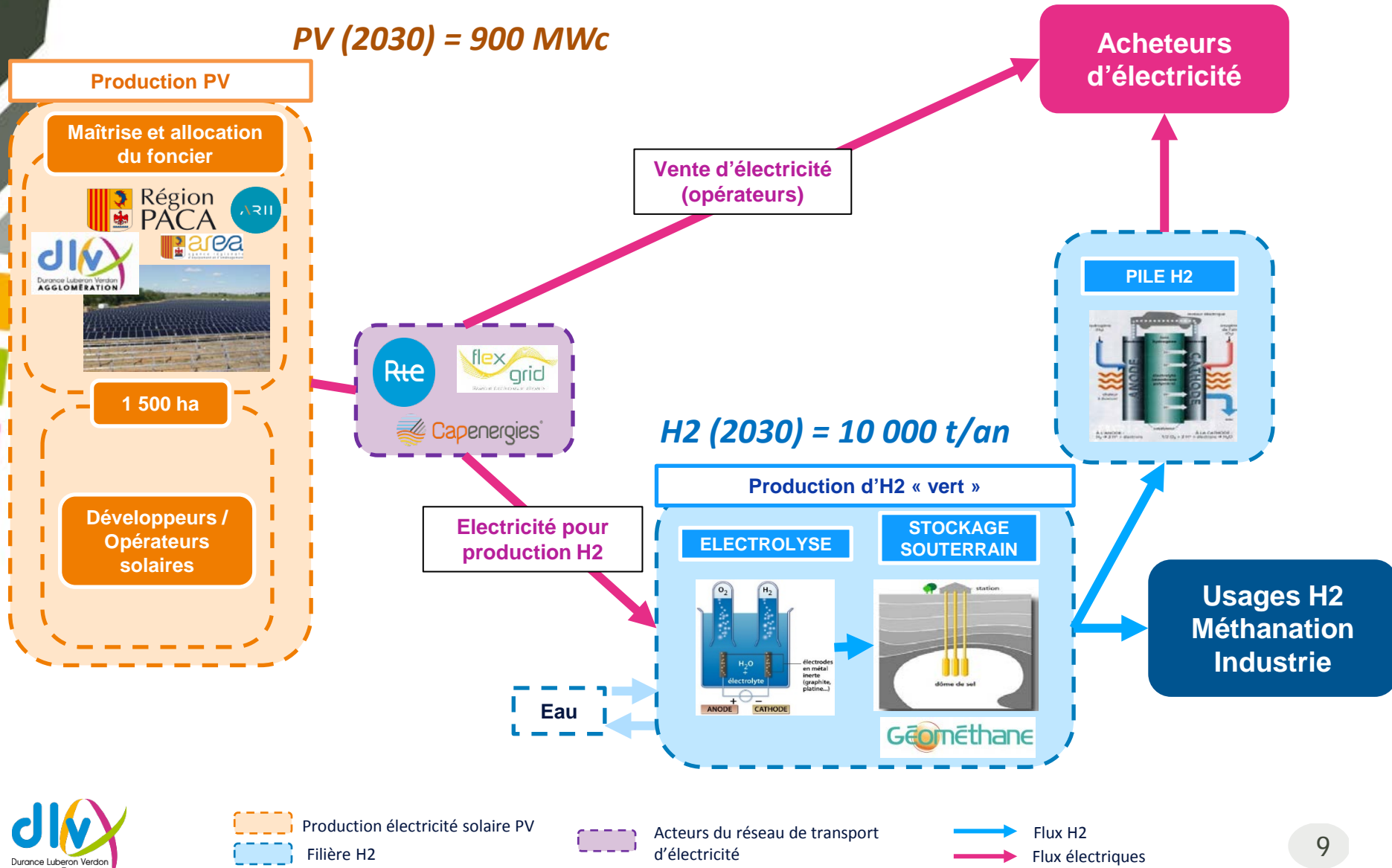
Mobilité
véhicules
légers



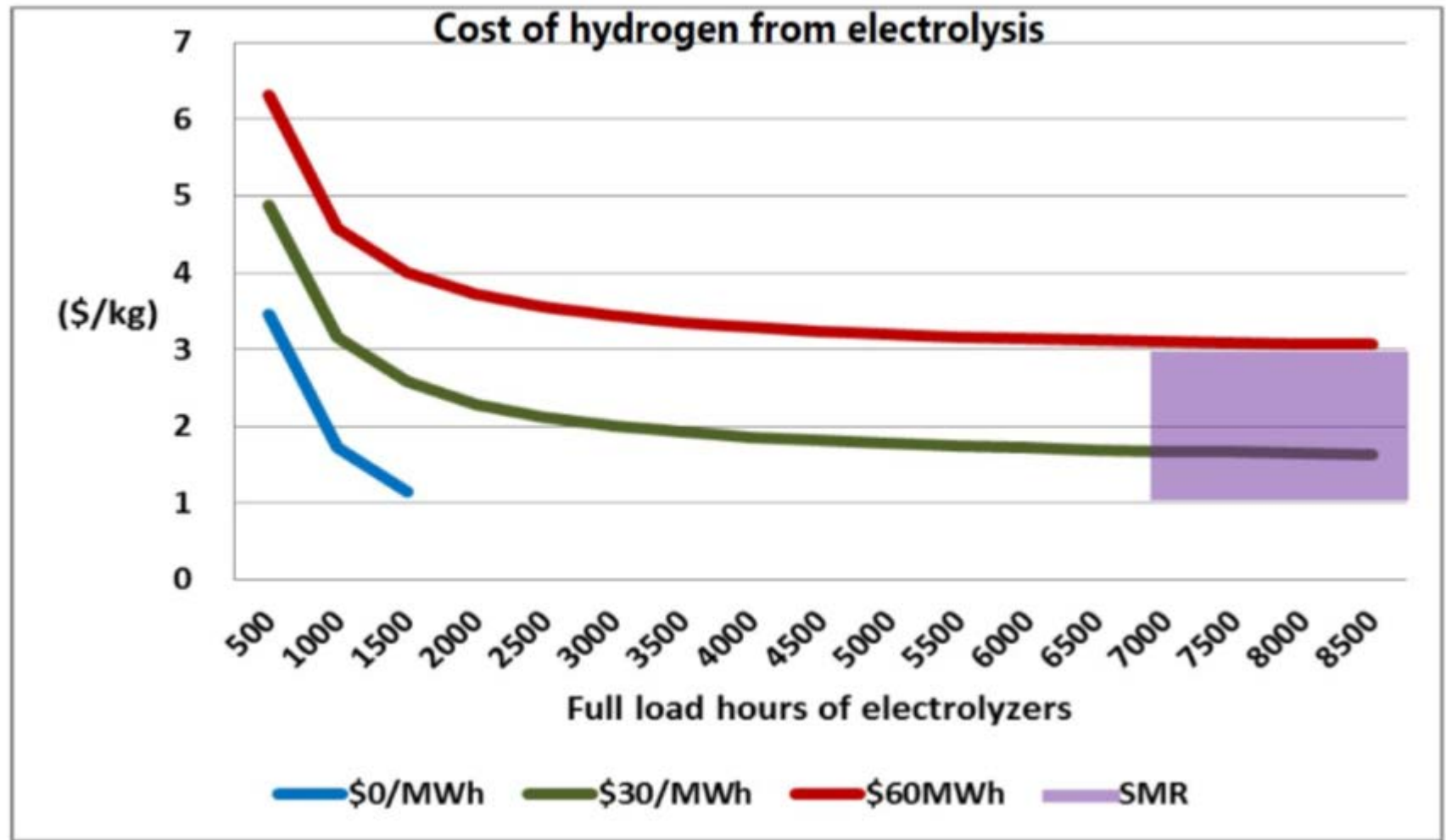
Ligne Marseille / Briançon (TER) => gare d'avitaillement H2 à Manosque

- Possibilité de couplage flottes (publiques ou privées)
- Tourisme vert : bateaux, vélos...

VALORISATION DE L'ÉLECTRICITÉ PRODUITE (AUPRÈS D'ACHETEURS D'ÉNERGIE ET DANS UNE CHAÎNE DE PRODUCTION D'HYDROGÈNE VERT AVEC USAGES DÉDIÉS)



INTÉRÊT DU RECOURS À L'ÉLECTROLYSE D'ÉNERGIE PV



LIEN AVEC RAPPORT INERIS (2016)

Le stockage souterrain dans le contexte de la transition
Énergétique, INERIS (septembre 2016)

STOCKAGE SOUTERRAIN D'H2

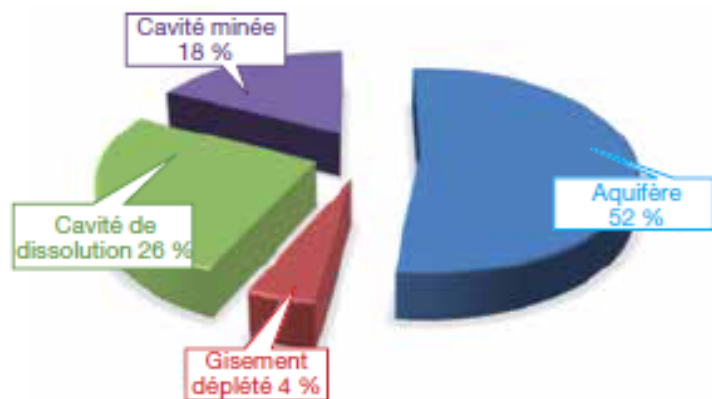
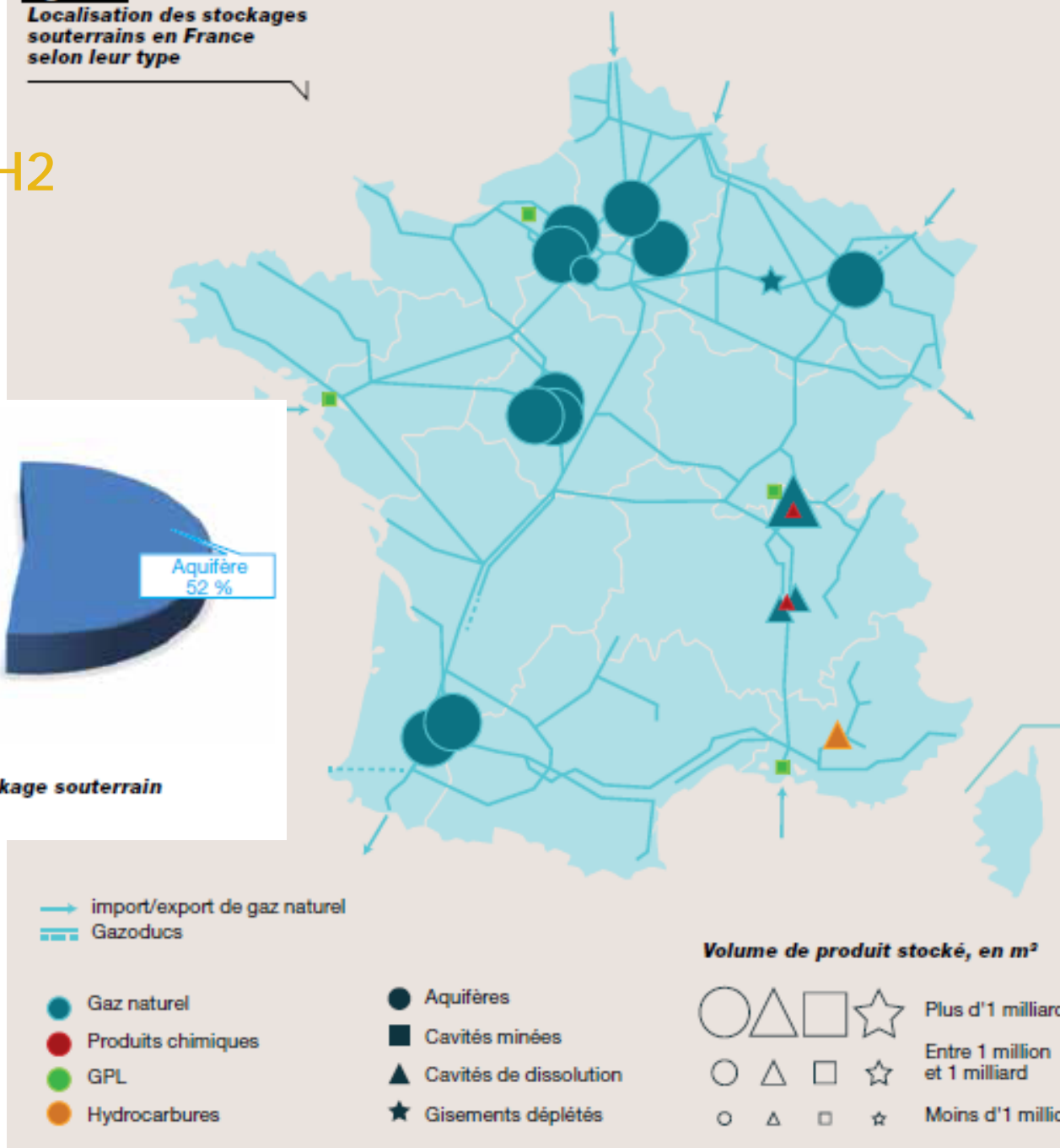


Figure 1
Répartition des sites de stockage souterrain en France, 2016

Figure 2.
Localisation des stockages souterrains en France selon leur type



Source : INERIS (2016)

STOCKAGE SOUTERRAIN D'H2

Source : INERIS (2016)

Produits stockés	Glissement déplété	Aquifère	Cavité de dissolution	Cavité minée	Commentaires
Hydrocarbures gazeux	X	X	X	X	
Gaz carbonique	X	X			Également en veines de charbon et roches basiques/ultrabasiques
Hydrogène			X		
Air comprimé			X	X	
Hydrocarbures liquides ou liquéfiés			X	X	Plus rarement en mine abandonnée
Produits chimiques			X	X	
Déchets industriels				X	Fréquemment en mine abandonnée

- ◆ Perméabilité quasi-nulle du sel (permet un confinement étanche du stockage)
- ◆ Possibilité de réaliser de grandes cavités (dissolution du sel)
- ◆ Faible interaction entre l'H2 et l'eau, les roches et/ou les micro-organismes (vs stockage en milieu poreux)

	Stockages d'énergie				Autres stockages (pour mémoire)	
	Hydrogène (cavité saline)	Air comprimé (cavité minée)	STEP souterraine (cavité existante)	Chaleur (cavité existante ou aquifère)	Gaz naturel (cavité saline)	CO ₂ à l'état supercritique (aquifère profond)
CAPACITÉS DE STOCKAGE ET PERFORMANCES TECHNICO-FINANCIÈRES						
Gamme de profondeur (m)	1 000-1 500	500-1 000	< 1 000	10-500	500-1 500	≥ 800
Volume de stockage typique (m³)	500 000	100 000	100 000	100 000	500 000	≥ 10 000 000
Gamme de pression/hauteur/température	80-200 bar	1-100 bar	0-500 m	5-60 °C	80-200 bar	> 74 bar et > 31 °C
Densité énergétique théorique (kWh/m³) dans les conditions du stockage	360 ⁽¹⁾	2,78	1,36	64	1 440 ⁽¹⁾	-
Rendement	30 ⁽²⁾ -60% ⁽²⁾	40-70% ⁽³⁾	70-80%	70-90%	50-60%	-
Densité énergétique effective (kWh/m³)	110-220	1-2	1-1,1	45-60	720-860	-
Cycles d'injection/soutirage	1/mois à 1/an	~1/jour	1/jour à 1/semaine	1 à 2/an	1/mois à 1/an	(injection seule)
Énergie stockée sur un an ⁽⁴⁾ (GWh)	55-1 300	30-70	5-40	4-11	400-5 000	-
Coût équivalent de l'électricité stockée sur un an ⁽⁵⁾ (M€)	4-100	2-6	0,4-3	0,4-0,9	30-400	-
Coût d'investissement (€/kWh)	8-11 ⁽⁶⁾	10-120 ⁽⁶⁾	0,1-10 ⁽⁷⁾	0,1-10 ⁽⁸⁾	0,05-0,2	-
PRINCIPAUX RISQUES ACCIDENTELS ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SANITAIRES POSSIBLES						
Impact sur la qualité des eaux souterraines	réduction d'espèces chimiques ⁽⁹⁾ (SO ₄ , NO ₃ ...)	Oxydation ⁽⁹⁾ (si stockage en aquifère)	mélange d'eaux de différentes qualités	dissolution-précipitation, prolifération bactérienne	réduction d'espèces chimiques, contamination ⁽⁹⁾	acidification, remobilisation d'éléments traces
Risques accidentels liés aux ouvrages d'accès	pression, explosion, inflammation	pression et froid (en cas d'éruption)		chaleur	pression, froid, explosion, inflammation	pression, froid, asphyxie, intoxication (en cas d'éruption)
Risques accidentels liés aux installations de surface	explosion, inflammation	pression		chaleur	explosion, inflammation	pression
Risques liés au réservoir de stockage	endommagement cavité, faille	endommagement cavité, faille	mouvements de terrain	endommagement cavité, faille	endommagement roche-couverture, faille	endommagement roche-couverture, faille

Source : INERIS (2016)

1 - Basé sur le PCI (pouvoir calorifique inférieur)

2 - Selon utilisation finale (production d'électricité ou pile à hydrogène)

3 - Selon CAES ou AA-CAES

4 - Tenant compte des valeurs extrêmes

5 - Calculé sur la base de 0,08 €/HT/kWh électrique

6 - Valeurs issues du rapport HyUnder

7 - Valeur prise égale à celle du stockage thermique faute de données sur les STEP souterraines

8 - Valeurs issues de IRENA, 2013

9 - En cas de fuite vers un aquifère superficiel

■ ■ ■ ■ Capacité de stockage et performance technico-financière, du plus au moins important

■ ■ ■ Risque accidentel et impact environnemental et sanitaire, du plus au moins important

+ D'INFO

IRENA, 2013. Thermal Energy Storage. Technology Brief. IEA-ETSAP and IRENA Technology Brief E17, January 2013, 20 p.



TECHNIQUE DU STOCKAGE GAZ EN CAVITÉS SALINES

JEAN-MICHEL NOE, PRÉSIDENT GÉOMÉTHANE

Situation géographique de Géométhane

Forcalquier

Durance

Installations de Géosel

Puits

Canalisation de liaison

Installations
de surface

Géométhane



Situation géographique

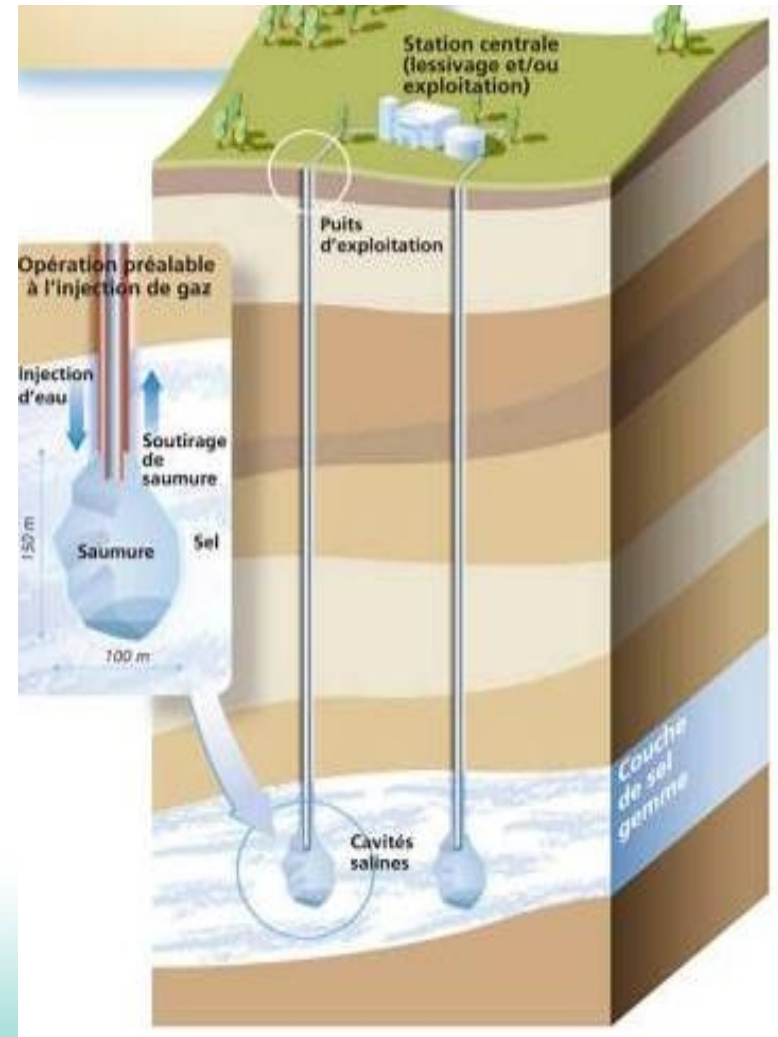
- Au cœur du Parc Naturel Régional du Luberon
- Le stockage est composé de 2 sites :
 - Les installations de surface à GAUDE
 - Les installations de stockage à GONTARD

Caractéristiques du stockage

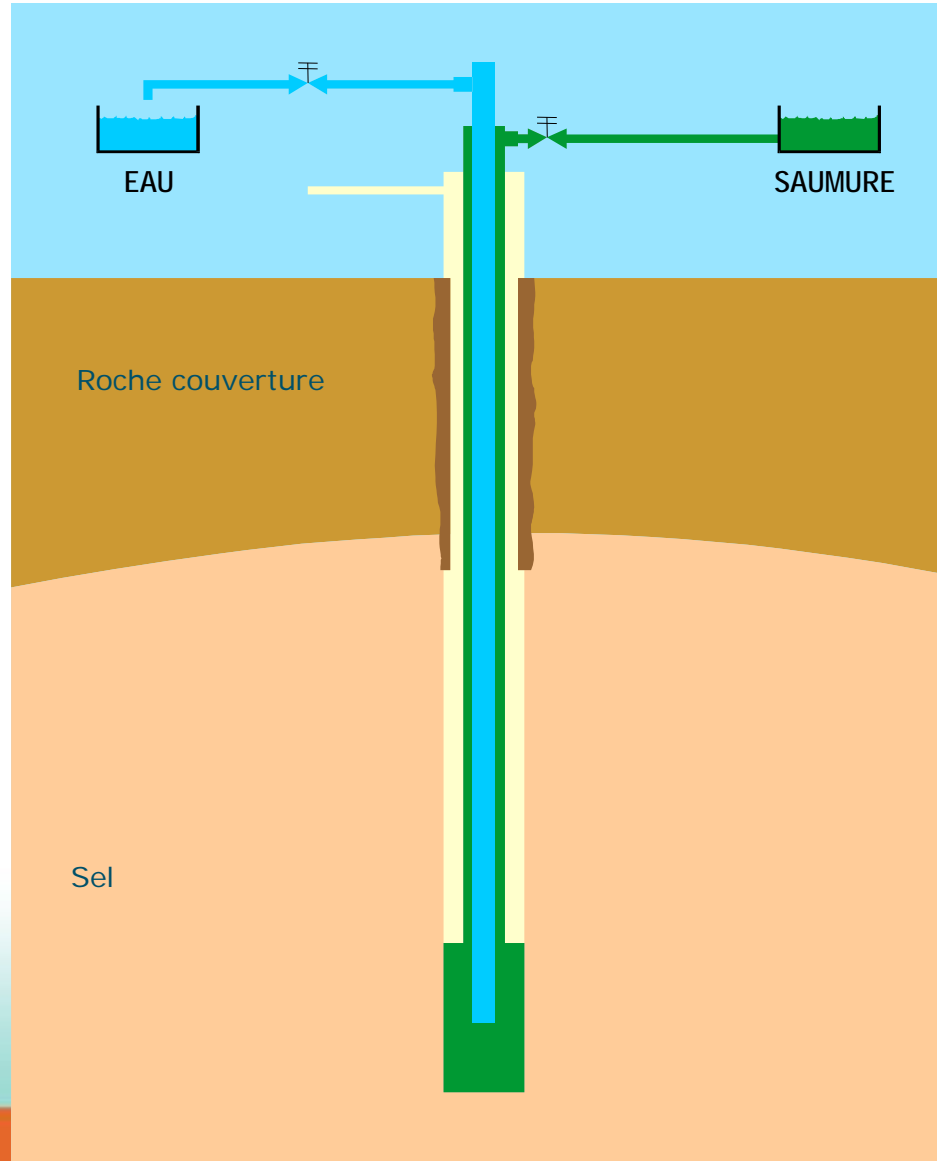
- 7 cavités service (et 2 en attente)
 - Volume total géométrique des cavités en service : $2,7 \text{ Mm}^3$
 - Profondeur : environ 1000 mètres
 - Hauteur : jusqu'à 366 mètres
- Volume de gaz stocké utile : $274 \text{ Mm}^3(\text{N})$
 - Équivalent aux $\frac{2}{3}$ de la consommation de Marseille
- Capacité de soutirage de pointe : $600\,000 \text{ m}^3/\text{h} (\text{N})$
 - Équivalent à la consommation de la Région PACA en hiver
- Puissance de compression de $2 \times 1,2 \text{ MW}$ utile
- Pression maximale de stockage : 171 bar

Le stockage en cavités salines

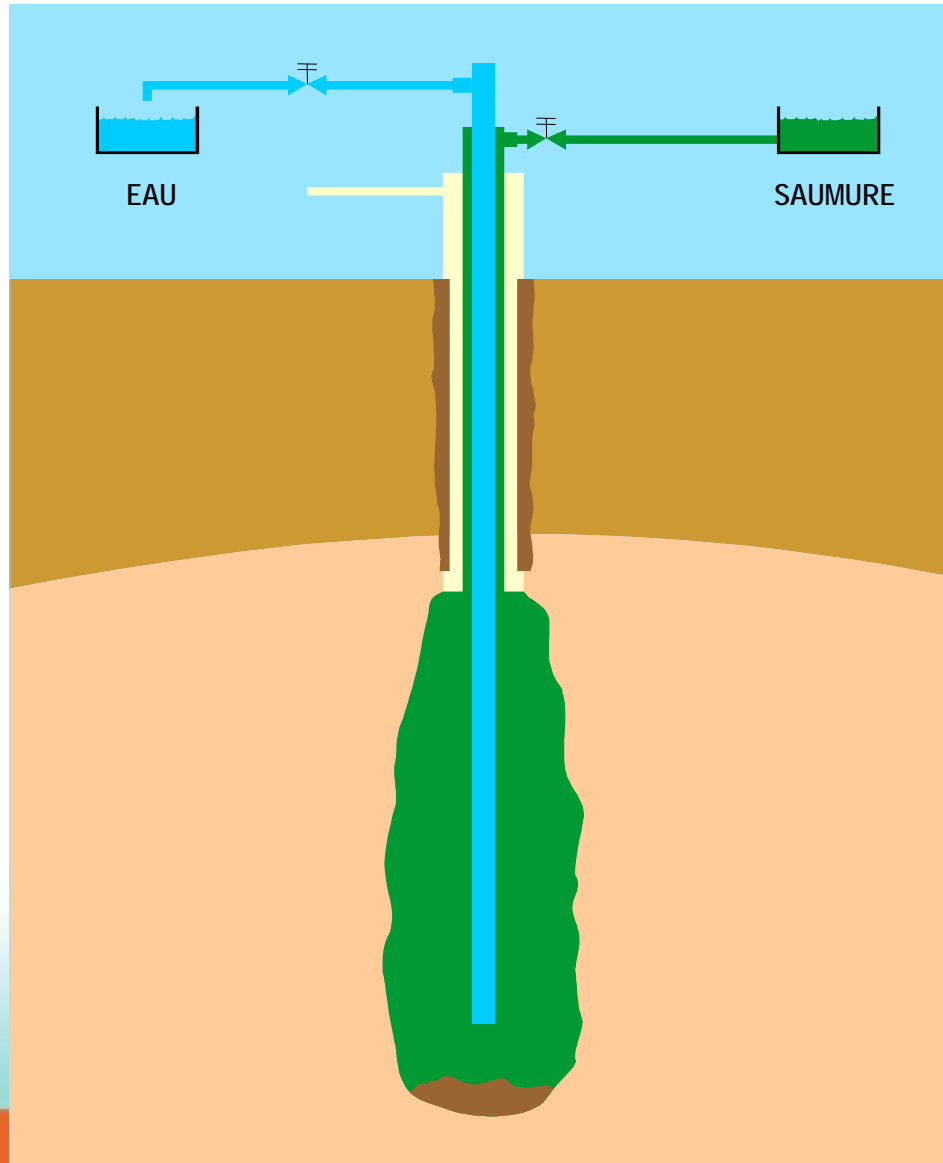
- Un volume utile relativement faible
- Un fort débit de soutirage



Lessivage d'une cavité saline : procédé de lessivage



Lessivage d'une cavité saline procédé de lessivage

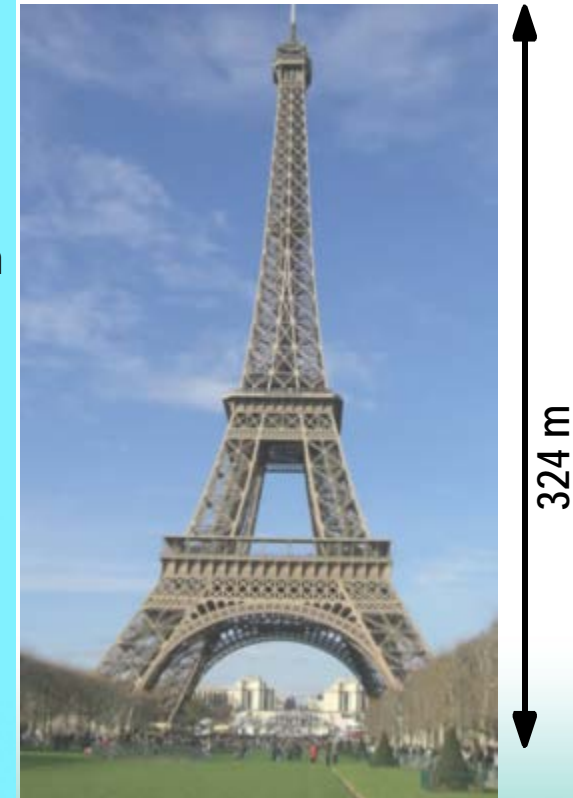
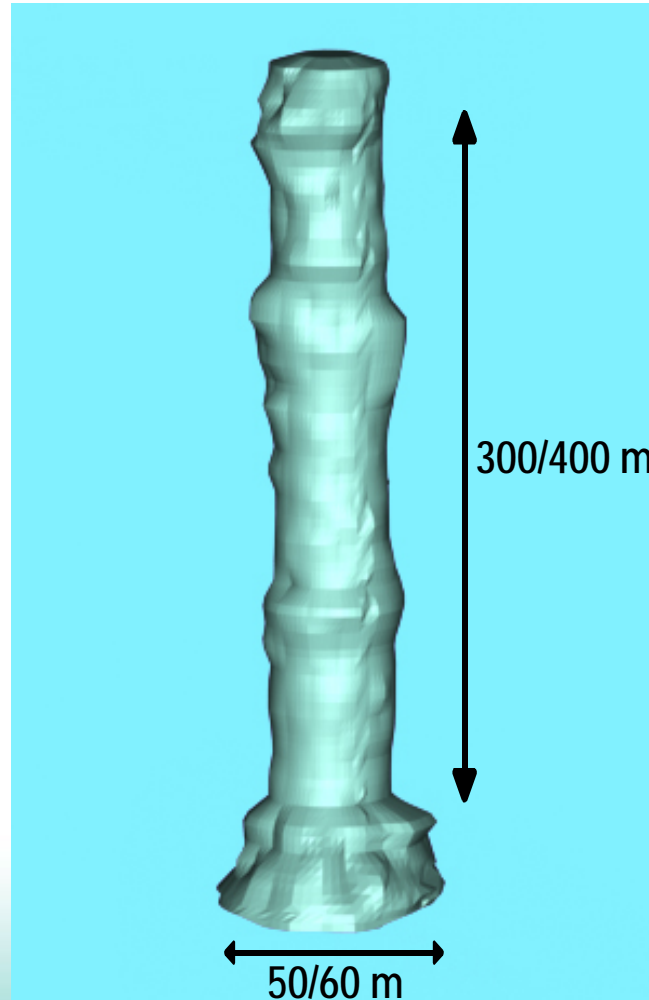


Vue 3D par sonar d'une cavité saline

Capacité cavité :
100 000 à 600 000 m³



48 m



324 m

Vue générale des cavités (Gontard)



Tête de puits



Vue aérienne du site de Gaude



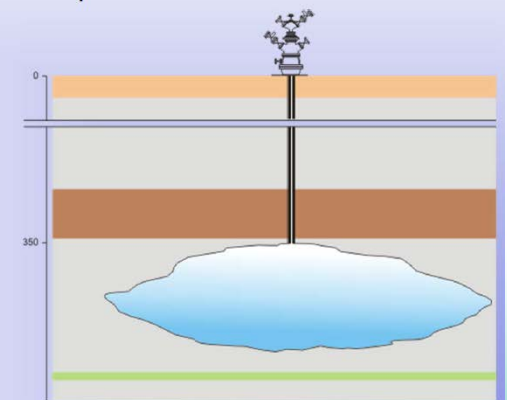
Les techniques sont maîtrisées.

Il existe des stockages d'hydrogène en cavités salines

- 1 site de 3 cavernes en Grande Bretagne (1972)
- 3 sites d'une caverne aux USA (1986)



3 caverns a 70,000 m³
p = 45 bar constant
depth ca. 370 m



10 & 11 juillet 2019 à Marseille (Palais du Pharo)

- ◆ Session 1 : L'hydrogène, déjà une réalité au quotidien : les déploiements actuels et à court terme
- ◆ Session 2 : Vers des projets de plus en plus structurants : la massification
- ◆ Session 3 : Accompagner pour réussir le déploiement à grande échelle
- ◆ 4 parcours de visites :
 - ◆ Industrie / port : Fos s/mer
 - ◆ Stockage massif et R&D : CEA Cadarach
 - ◆ Mobilité : Circuit Paul Ricard
 - ◆ Risques et formation : ENSOSP

Flavien PASQUET

Ingénieur, animateur filière H2 PACA

06 98 72 19 19

flavien.pasquet@capenergies.fr



Domaine du Petit Arbois, Avenue Louis Philibert

Bâtiment Henri Poincaré

13290 - Aix-en-Provence

www.capenergies.fr