



Projet de plate-forme de stockage d'énergie renouvelable et de production d'hydrogène

*HYBSEN - HYdrogène en Bretagne pour le
Stockage d'ENergie Renouvelable*

Le stockage de l'énergie: 2^{ème} pilier de la troisième révolution industrielle

Le développement des énergies renouvelables

Le stockage de l'énergie

- Un vecteur de stockage multivalorisable

Les réseaux énergétiques intelligents

- Les producteurs-consommateurs échange sur un modèle peer to peer
- Un compteur qui permet d'acheter et de revendre son énergie, en temps réel, à n'importe quel opérateur

Les bâtiments à énergie positive

Les véhicules zéro émission (BEV, FCEV ...)

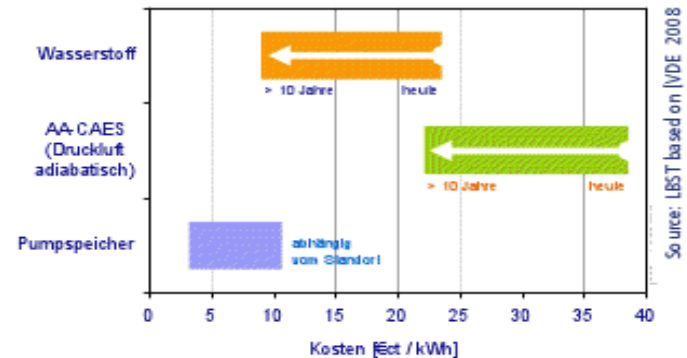
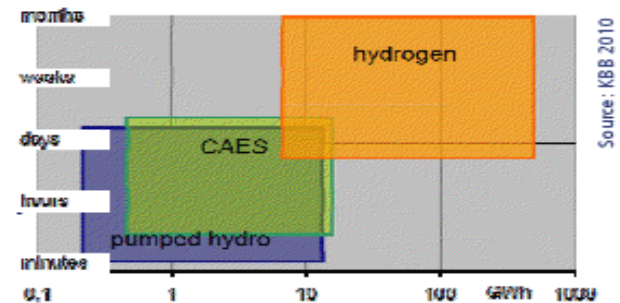
Comparons quelques moyens de stockage

Electricity Storage Characteristics



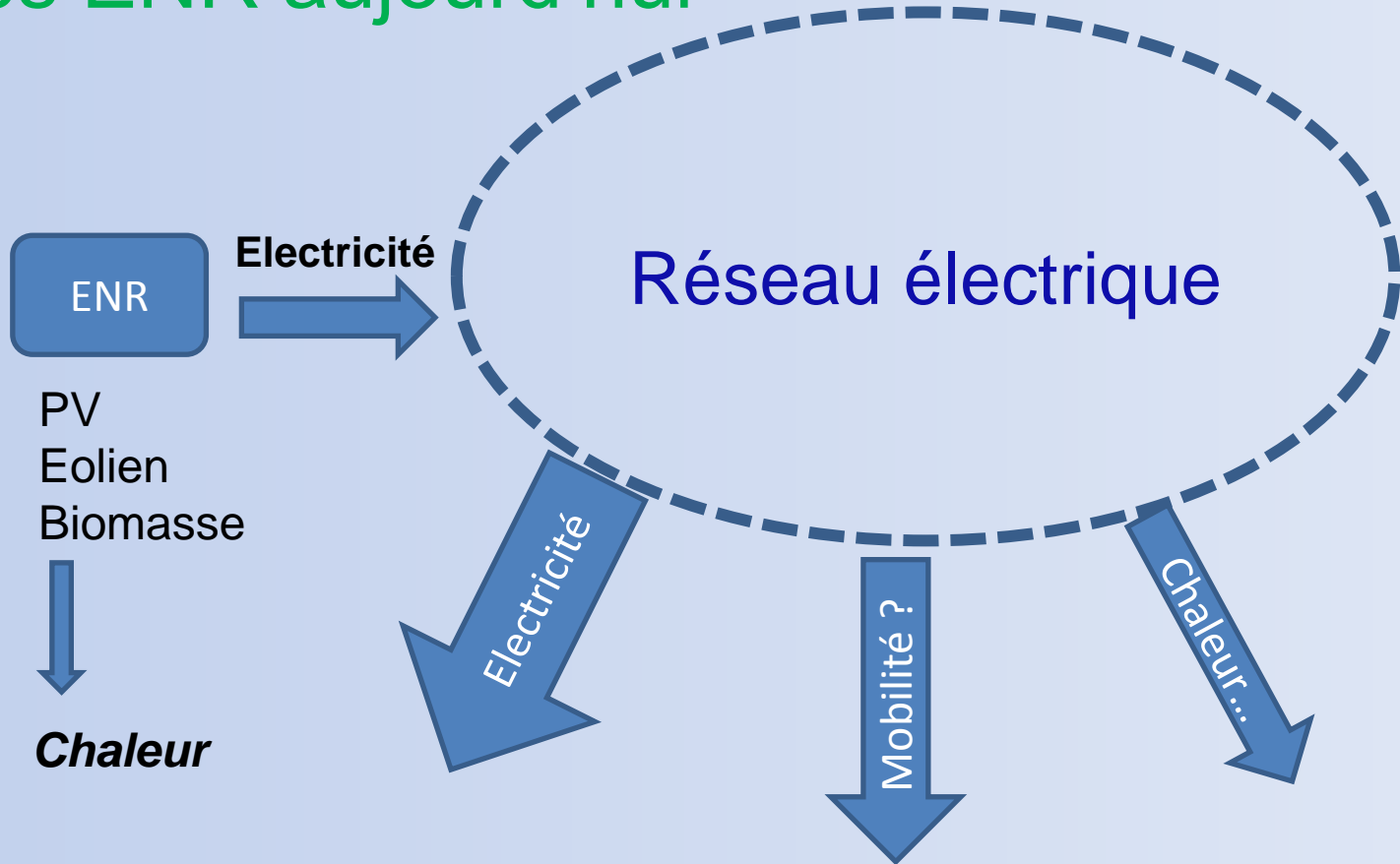
ludwig bolkow
systemtechnik

- All storage technologies are different
- Characteristics determine application
- Pumped hydro most economical for short and mid term storage, but potential is limited
- Compressed air storage only efficient with thermal storage (adiabatic) and quite expensive
- H₂ in caverns has highest density and is most economical large scale storage
- ➔ H₂ is only long term storage option with TWh capacity



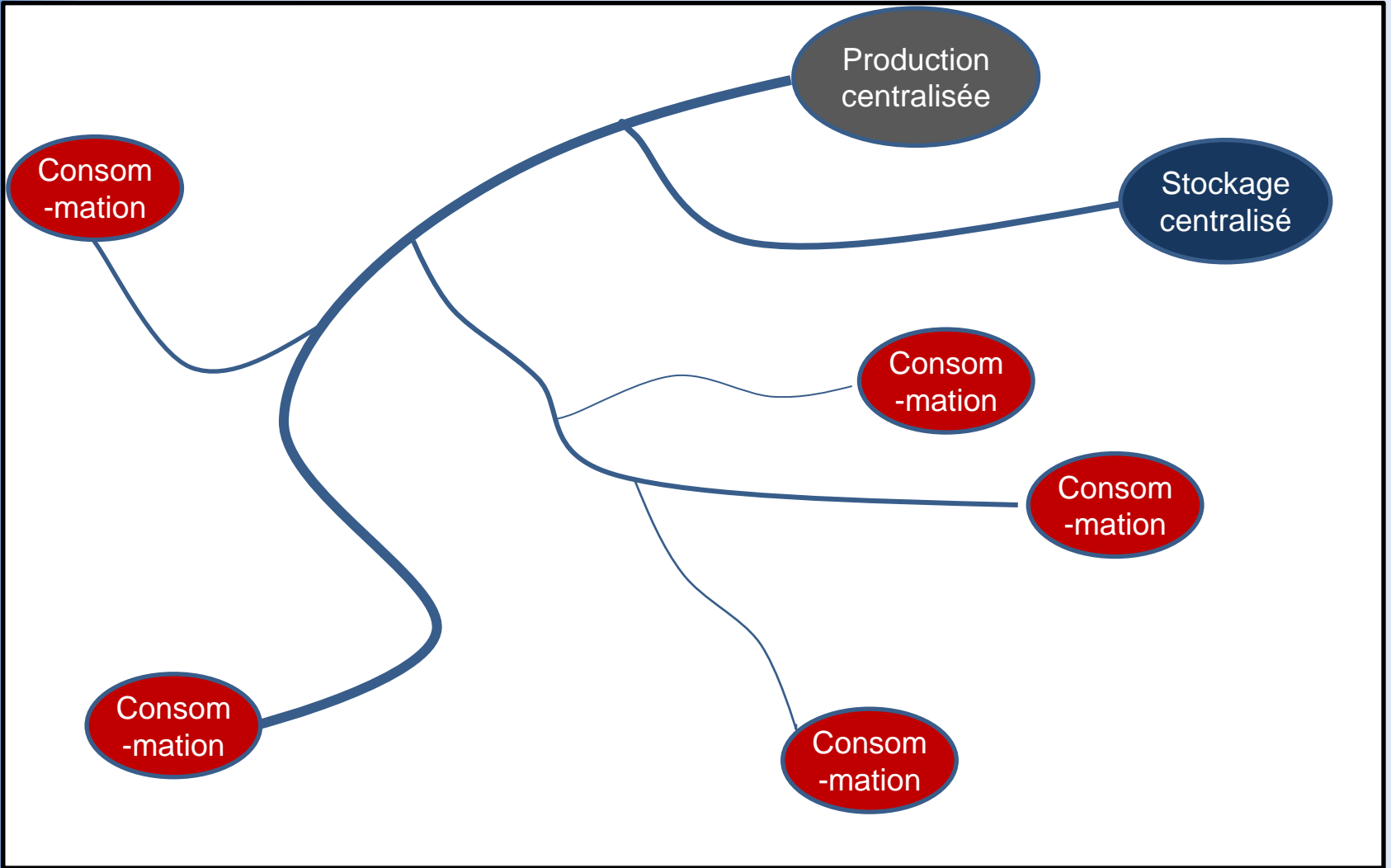
Conclusion: l'hydrogène est la seule réponse au stockage d'énergie long terme (1 mois) ayant une capacité de 1 TWh (en cavité souterraine)

Les ENR aujourd'hui



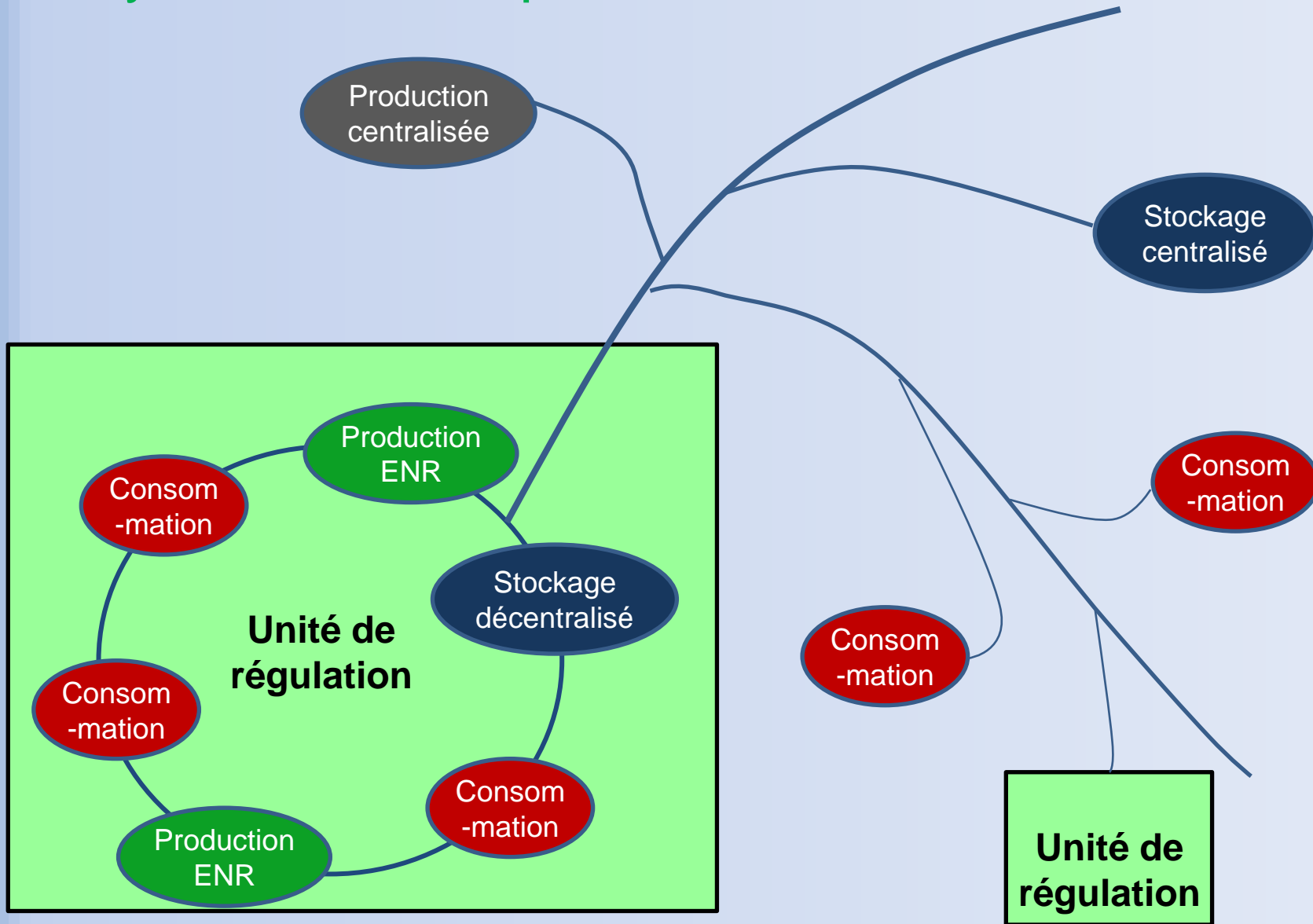
Electricité : potentiel limité, réseau centralisé, accès au réseau compliqué, concurrence des autres filières, « intermittence » et régulation, stockage difficile....

Le système électrique actuel



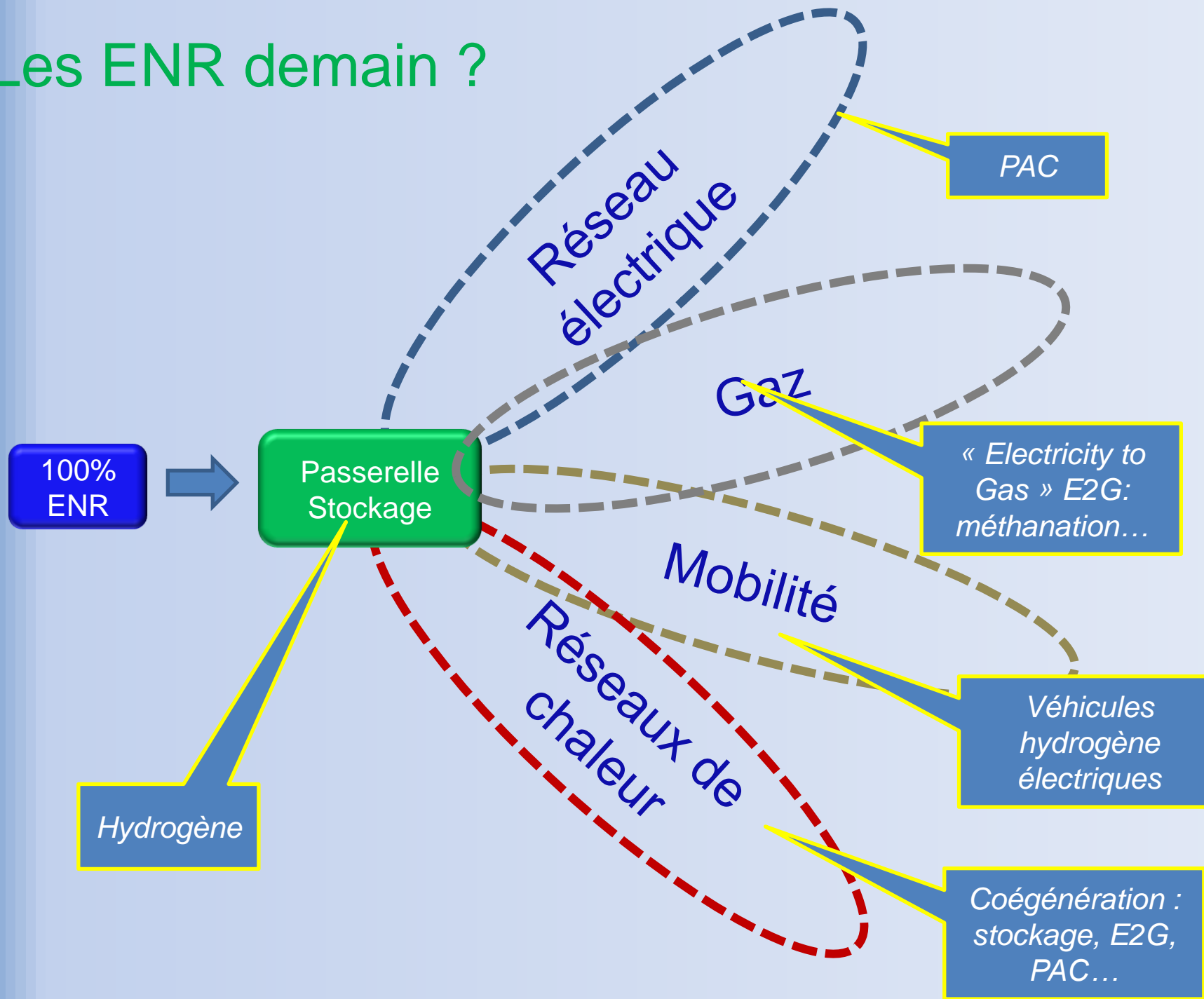
Modèle centralisé

Le système électrique futur



Modèle combiné centralisé/décentralisé
Réseau : interconnexion d'unités de régulation

Les ENR demain ?



L'hydrogène dans le système énergétique futur

Besoin de stockage des ENR

- Local/centralisé
- Court terme (heures) et long terme (jours/semaines/mois)

Besoin de changement de vecteur

- Transport longue distance, « connexion » au marché mondial, transition énergétique

Besoin de passerelles entre vecteurs

- Électricité, gaz/liquide, chaleur

Hydrogène ?

- Un des vecteurs pour la consommation directe
 - Statique, en mobilité
- ou le stockage (régulation, lissage de l'intermittence)
- Un vecteur intermédiaire pour la transformation en gaz plus maniable (stockage, transport, utilisation)

Techniquement, pas de rupture

Pratiquement et économiquement, beaucoup d'incertitudes : besoin d'expérimentation opérationnelle

Le projet HYBSEN

Démonstration opérationnelle : conversion, stockage d'hydrogène, utilisation électrique et en mobilité

ENR locales ou importées par le réseau

- **Électricité issue d'énergies renouvelables**
 - Vent, soleil, courants, vagues et houle

Conversion et stockage

- **Direct** : comprimé, liquide, sous forme d'hydrures
- **Indirect** (Conversion : méthanation...)

Utilisation

- **Hydrogène : flotte de véhicules à pile à combustible**
 - Combustible de substitution
- **Electricité :**
 - **Injection dans le réseau en pointe**, ou lorsque les ENR ne sont pas disponibles
 - Recharge de véhicules électriques 100% ENR

Intégration dans un réseau local intelligent

- **Chaleur, électricité, gaz naturel, hydrogène**



HYBSEN, un projet-clé pour les régions françaises

Systeme énergétique :

- Stockage de l'énergie produite par diverses filières ENR
 - Décentralisé, centralisé
- Injection à la demande d'électricité dans le réseau

Mobilité décarbonée 100% ENR

- Alimentation en hydrogène d'une flotte de véhicules

EMR : Maîtrise complète de la chaîne industrielle

- Production, conversion, transport, injection

Objectifs

- Expérimentation *grandeur nature*
 - Opérationnelle 24h/24, 7j/7
- Plate-forme « scalable » et « répliquable »
 - Plus grande ou plus petite
 - Adaptable aux diverses situations bretonnes
Ex : zones urbaines, rurales, littorales, insulaires
- Développement du savoir-faire
 - Industriel, énergétique
Expérimentation et test
 - Filières terrestres ET marines
- Soutien à la recherche et à la formation
- Evaluation en conditions réelles du modèle économique

Dimensionnement de la plate-forme : premières estimations

Hypothèse de base

- 8 bus, 400 km/jour, stockage pour 3 jours d'autonomie environ
 - 300 kg/jour, soit 900 kg d'hydrogène
- Production électrique à partir d'hydrogène
 - 1,2 MW 4 heures par jour pendant 3 jours
 - Energie électrique restituable = 14,4 MWh
- Production hydrogène et électricité simultanément
 - Si nécessaire, priorité alimentation flotte véhicules H₂
Pas d'alternative pour ces véhicules...

Projet envisagé

- Production d'hydrogène
 - Electrolyseur de 1900 kW
 - Produit en 24 h 684 kg H₂, en 72 h 2052 kg H₂
 - Soit 6500 km = 8 bus pendant 2,7 jours
- Stockage
 - 2000 kg d'hydrogène
 - 1000 kg stockés à 700 bar (24 m³) 1000 kg hydrures (10 m³) ?
- Production d'électricité
 - PAC 1,2 MW maximum 12 h

Résultats attendus

Démonstration de faisabilité opérationnelle :

- Alimentation flotte de véhicules en H2 renouvelable
- Stockage d'énergie et injection en pointe

Estimation économique

- Coût de l'hydrogène renouvelable
- Coût du stockage

Valorisation de l'expérience

- Déclinaisons spécifiques (rurale, insulaire...)
- Industrialisation

Eléments de stratégie régionale

- Industrielle, formation
- Système énergétique régional futur
 - Décentralisation
 - Régulation du système électrique (STEP, H2, batteries...)
 - Systèmes isolés
- Transports propres

Expérimentations couplées sur le territoire?

*Stockage/régulation
Réseau intelligent
Bâtiment intelligent
R&D, formation
Transport en commun H₂*

**Plate-forme
HYBSEN**

*Intégration EMR locales ou non
Réseau insulaire intelligent
Véhicules utilitaires, navires H₂*

**Plate-forme
insulaire**

Compétences, expertise
Equipements : achat, maintenance
Production et stockage H₂
Production électricité
interface réseau électrique

**Plate-forme
rurale**

*Ferme énergétique (éolien, solaire,
biomasse)
Réseau rural intelligent
Véhicules agricoles H₂*

**ZAE
(Zone d'activités
énergétiques)**

*Production énergétique (solaire, éolien,
hydraulique, biomasse...)
Stockage hydrogène
Production chaleur, eau*

Avantages

Mutualisation

- **Compétences, moyens, achats**

Couverture de toutes les situations types

- **Zones urbaines structurellement déficitaires**
 - Production éparpillée (solaire, petit éolien), réseau dense intelligent
 - Véhicules urbains à hydrogène
- **Zones rurales potentiellement excédentaires**
 - Capacités de production (grand éolien, grand solaire, biomasse)
 - Autoconsommation : engins agricoles hydrogène, industrie agro-alimentaire, cogénération
- **Zones insulaires non/mal connectées**
 - EMR, production locale terrestre
 - Réseau insulaire intelligent
 - Véhicules hydrogène insulaires, navettes maritimes, petits navires de pêche



Plate-forme pilote pour les EMR

Important potentiel des énergies marines renouvelables

- Vent, houle et vagues, courant, énergie thermique...
 - Éolien flottant, par exemple
 - Centrales flottantes ETM ...

L'essentiel de la ressource se situe loin des côtes

- Loin de la demande
- Problèmes :
 - Transport de l'énergie vers la côte
 - Câbles électriques de plusieurs centaines ou milliers de km...
 - Difficulté d'intégration dans les réseaux électriques
 - Raccordement, équilibre
 - Vecteur « électricité » mal adapté (stockage, mobilité...)

Le passage au vecteur hydrogène est stratégique

- Ouverture potentielle aux EMR de tout le marché mondial de l'énergie
- Nécessité de développer des installations pilotes
 - Production d'hydrogène en mer, transport vers la terre, stockage, injection dans le réseau électrique

Plate-forme insulaire : premier pilote pour les EMR

- Partenariats potentiels : France Energies Marines, producteurs (éolien posé ou flottant, hydrolien...)

HYBSEN : un projet ambitieux à un moment clé

Développement énergétique de la région

- Un pas vers la fin de la dépendance énergétique et de la fragilité électrique
- Une occasion de devenir leader sur les transports décarbonés
- La perspective d'une énergie à un prix maîtrisé à long terme
- Une avance décisive dans un secteur d'avenir

Développement industriel, R&D

- Hydrogène, piles à combustible, énergie, réseaux énergétiques intelligents

Formation et recherche

- Universités, écoles d'ingénieurs, formation professionnelles

Contribution à d'autres filières industrielles

- Énergies marines
- Industrie automobile, industrie navale
- Pour un marché *mondial*

Parc éolien de Courseulles-sur-mer

75 éoliennes en mer d'une capacité unitaire de 6 MW

Puissance totale de 450 MWc

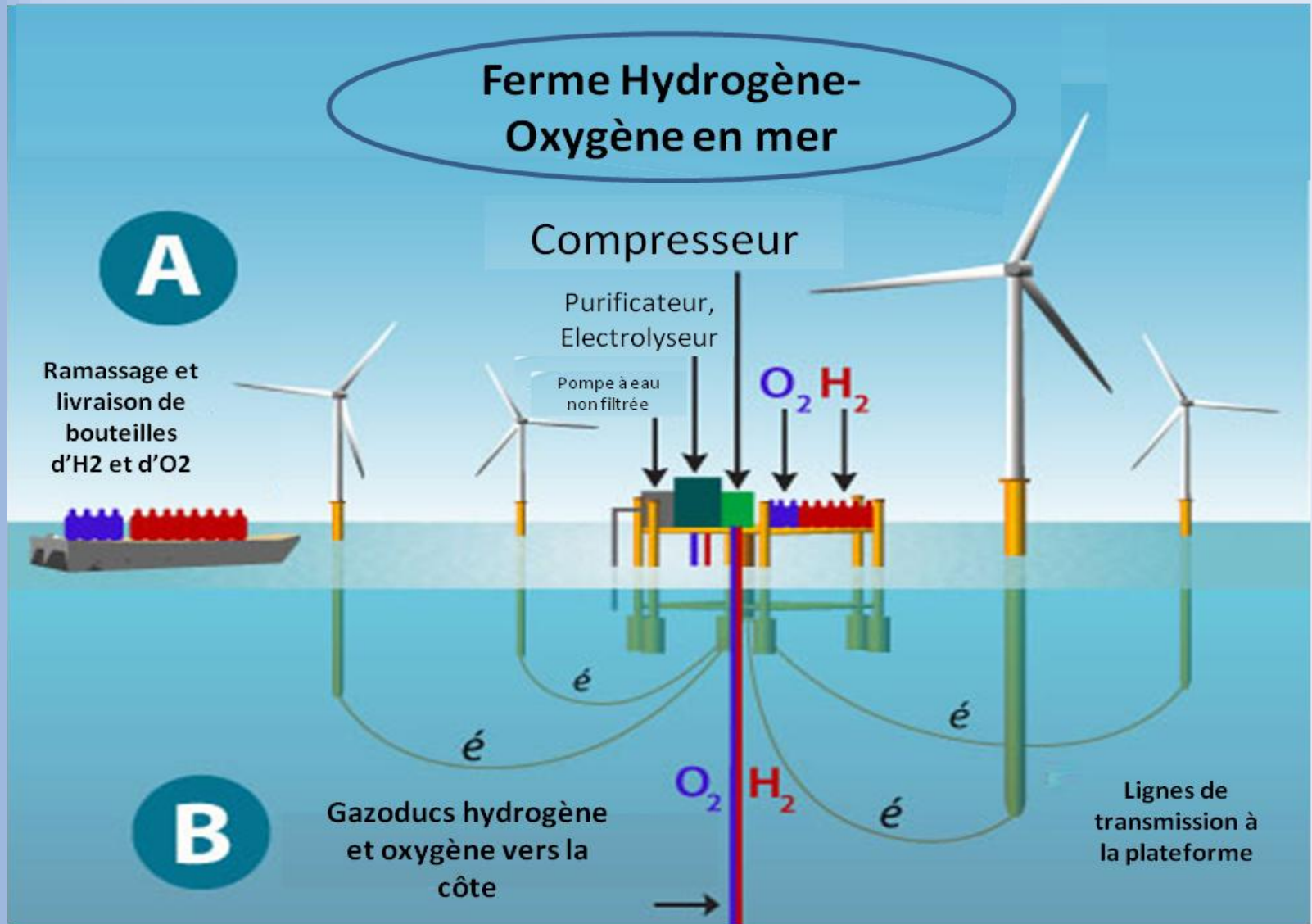
Localisées de 10 km à 17 km des côtes

Reliées par des câbles électriques sous-marins (3 M€ / km)

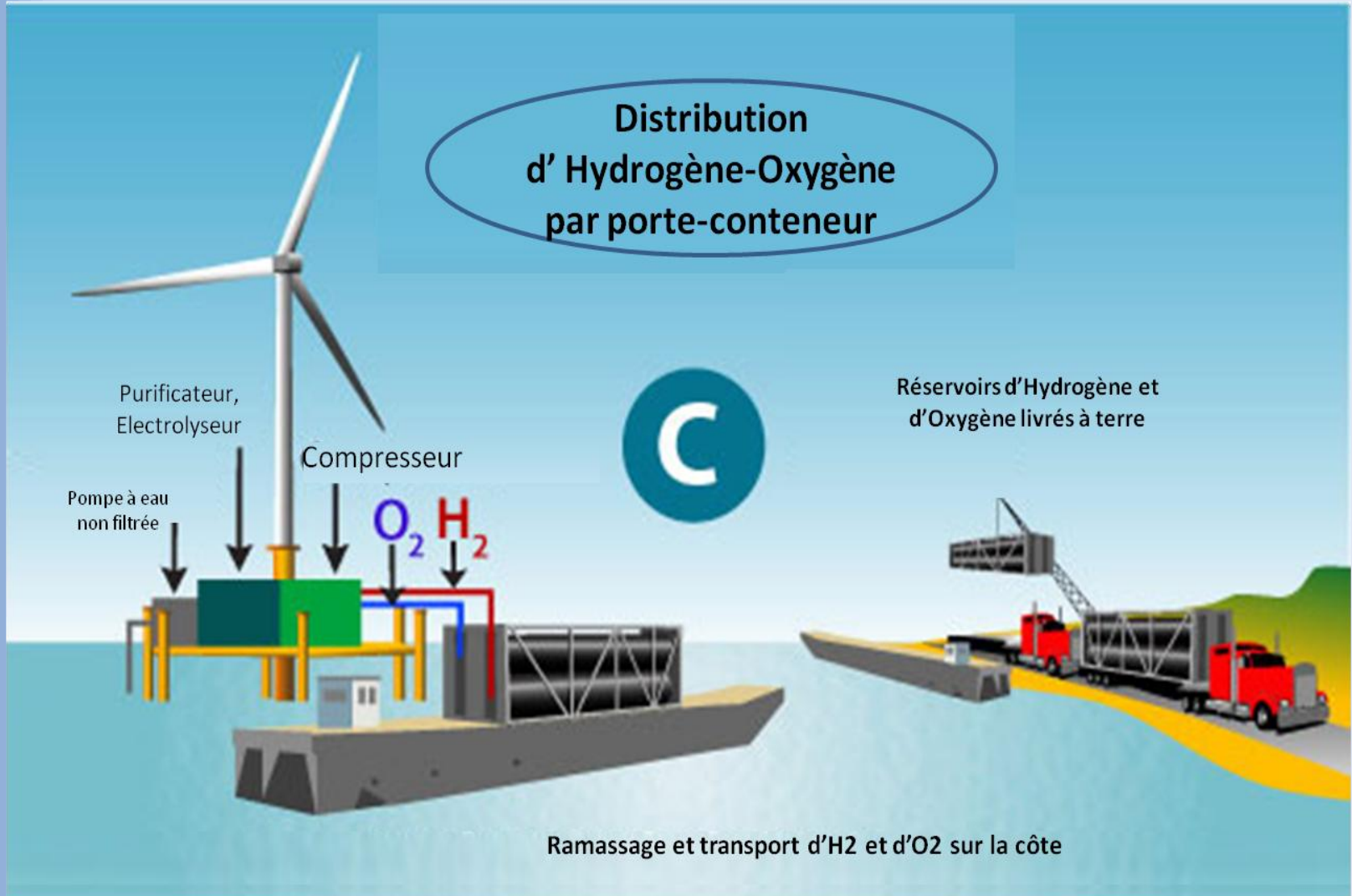
Poste électrique en Mer:

- équipements de transformation de tension
(élévation de la tension de 33 000 volts à 225 000 volts)
- comptage de l'énergie produite
- point de départ du raccordement au réseau public de transport d'électricité dont RTE est le maître d'ouvrage

Alternative 1



Alternative 2

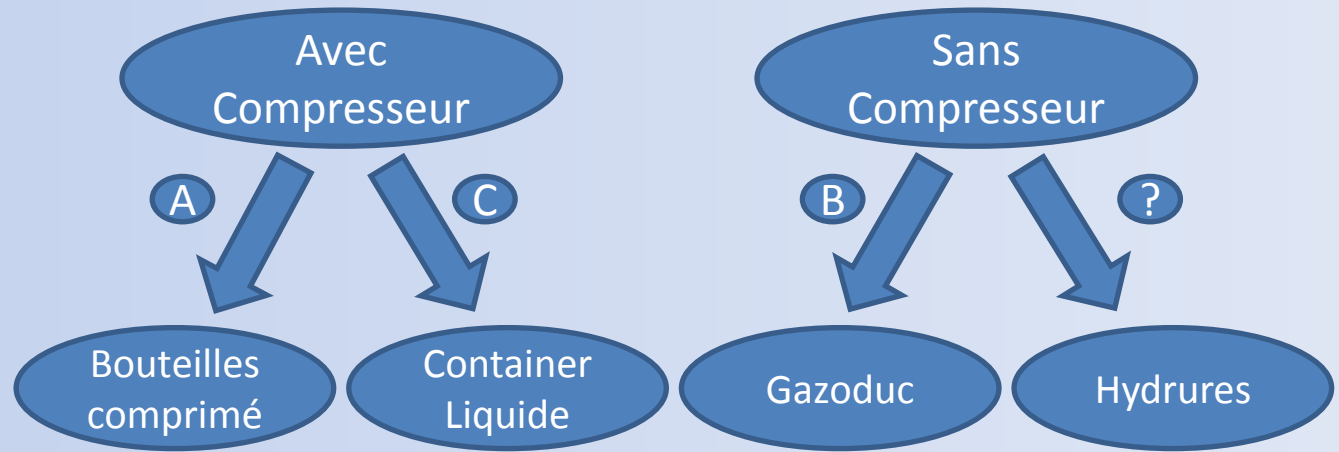


Etude de Louis Rollin, Mines Paristech et ERH2-Bretagne (2011) (voir aussi F.Schott (2009) usine de prod. d'H2 en Haute mer)

Techniquement:

Purificateur eau de Mer + électrolyseur (Alcalin ou PEM)

2 Options:



CAPEX Investissement	X 2,5	X 2	1	?
OPEX exploitation	X 2,2	X 1,8	1	?

Ces raisons nous ont mené à étudier plus en détail
la solution gazoduc

Gazoduc hydrogène - oxygène

L'hydrogène fragilise les aciers

- interstices, diffusion, défauts de structures amplifiés

Choix du Débit (selon puissance électrique disponible): 3 000 nm³ / h

- Correspond à **16 à 17 éoliennes de 6 MW** fonctionnant 4 000 heures / an
- 6 000 Tonnes d'H₂ vert produit par an (1 million de pleins d'hydrogène pour voitures électriques avec 600 km d'autonomie)

Choix des Matériaux: actuellement utilisés:

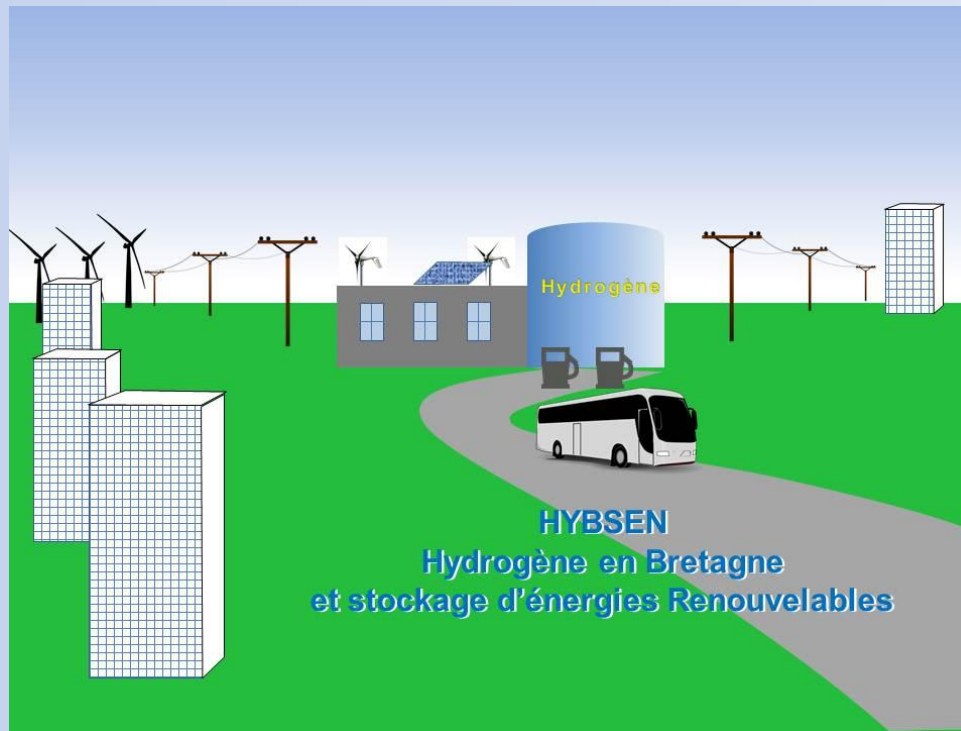
- Aciers austénitiques inoxydables, peu sensibles à la fragilisation de l'acier, d'épaisseur renforcée, mais coût important.
- Pressions de service réseau nord Europe: de 3,4 à 100 bars

Choix de la Pression au sein du réseau: 5 Bars en sortie

- Pression à la sortie de l'électrolyseur PEM 1 à 10 bars, Alcalin 1 à 30 bars
- Distance moyenne de 5 à 10 km des côtes
- Pertes de charges régulières

Choix du diamètre intérieur

- Avec ce débit et cette pression de sortie: 19,36 cm
- ➔ Pression entrée = 5, 026 bars (5 km) à 5,052 (10 km) et 5,13 (25 km)



Merci de votre attention

Contact : Bruno Mansuy, erh2.bretagne@gmail.com

WWW.ERH2-Bretagne.com

