



Stockage comprimé de l'H₂

Compressed Gaseous Hydrogen Storage (CGH₂)



Fabien NONY

Département Matériaux

CEA/Le Ripault – BP16 – 37260 MONTS

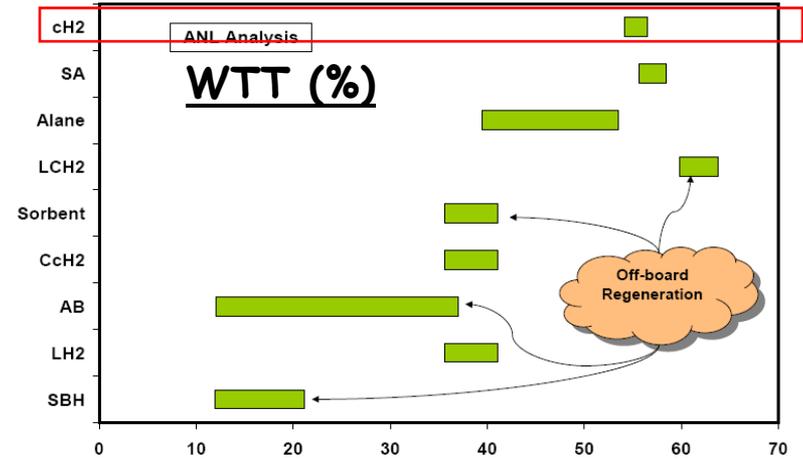
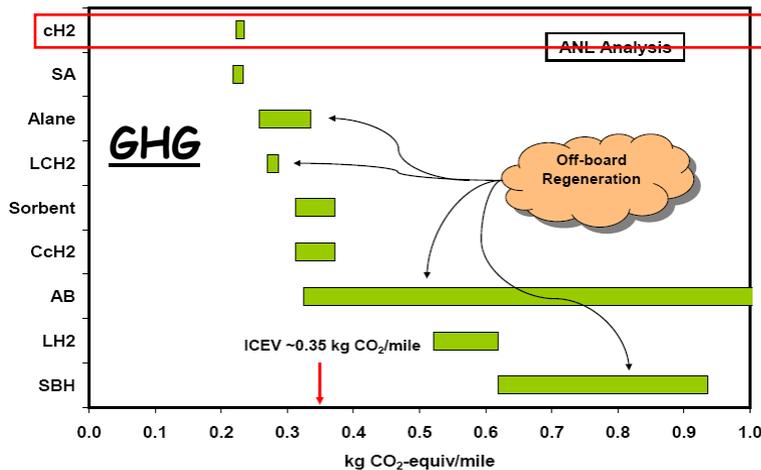
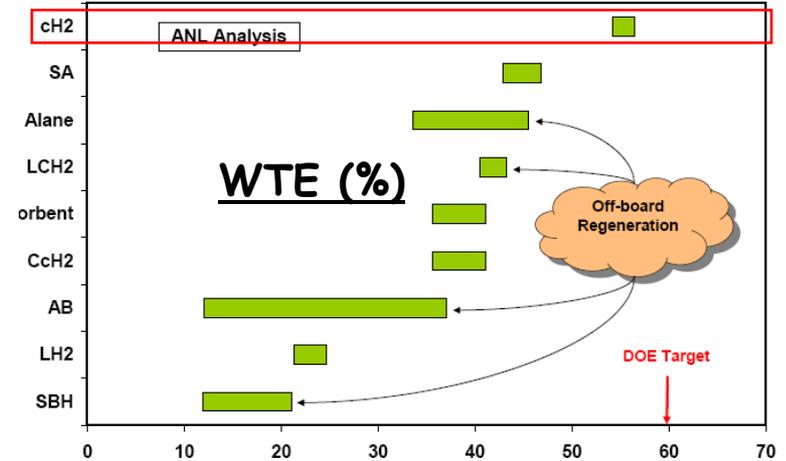
e-mail : fabien.nony@cea.fr



Sommaire

- Capacités :
Enjeux Vs Etat de l'art
- Usages :
marchés cibles
- Sécurité :
R&D prénormatives/ essais normatifs
- Perspectives
...

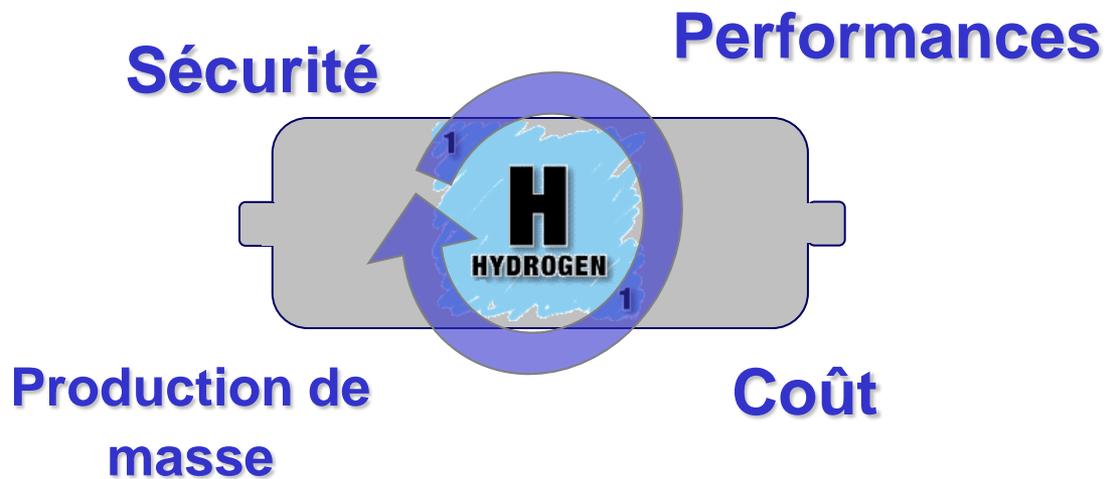
• Contexte Stockage H2 → Choix CGH2



Source: DoE-AMR 05/2011, Project ID: ST001, R.K.Ahluwalia



- Capacités : Enjeux Vs Etat de l'art



Environmental and chemical effects



Burst Test



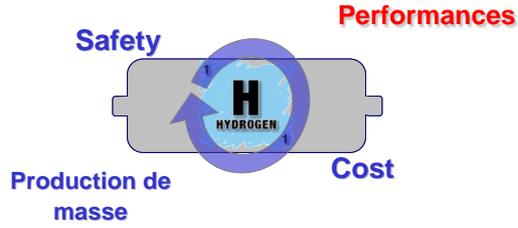
Flaw/Damage Tolerance



Drop Test

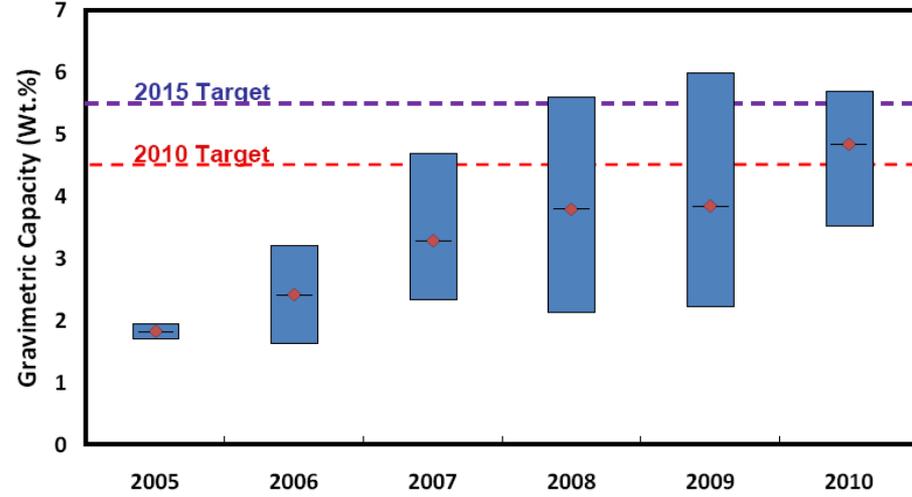
Source : PowerTech

- Enjeux Vs Etat de l'art

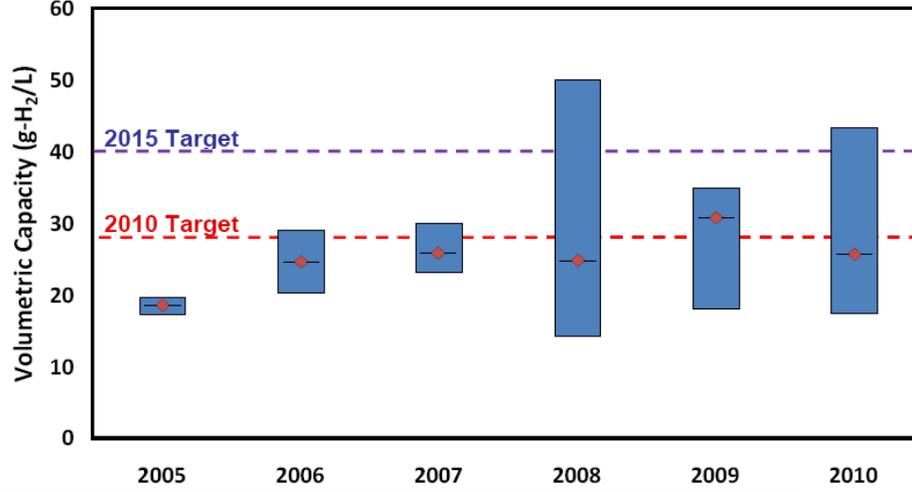


Target	2015 <i>new</i>	2015 <i>old</i>	Ultimate* <i>new</i>
System Gravimetric Density [wt.%] (kWh/kg)	[5.5] (1.8)	[9] (3.0)	[7.5] (2.5)
System Volumetric Density [g/L] (kWh/L)	[40] (1.3)	[81] (2.7)	[70] (2.3)
System fill time for 5-kg fill [min] (kgH ₂ /min)	[3.3] (1.5)	[2.5] (2.0)	[2.5] (2.0)
System cost [\$/kgH ₂] (\$/kWh _{net})	TBD	[67] (2)	TBD

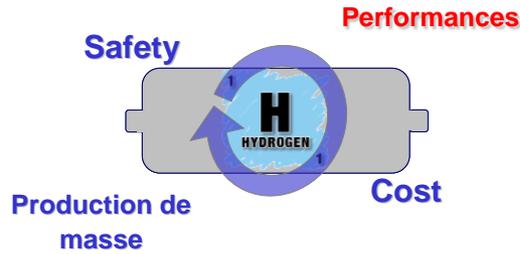
Projected Ranges of System Gravimetric Storage Capacity
For Chemical, Metal Hydride, Sorbent and Physical Storage Technologies



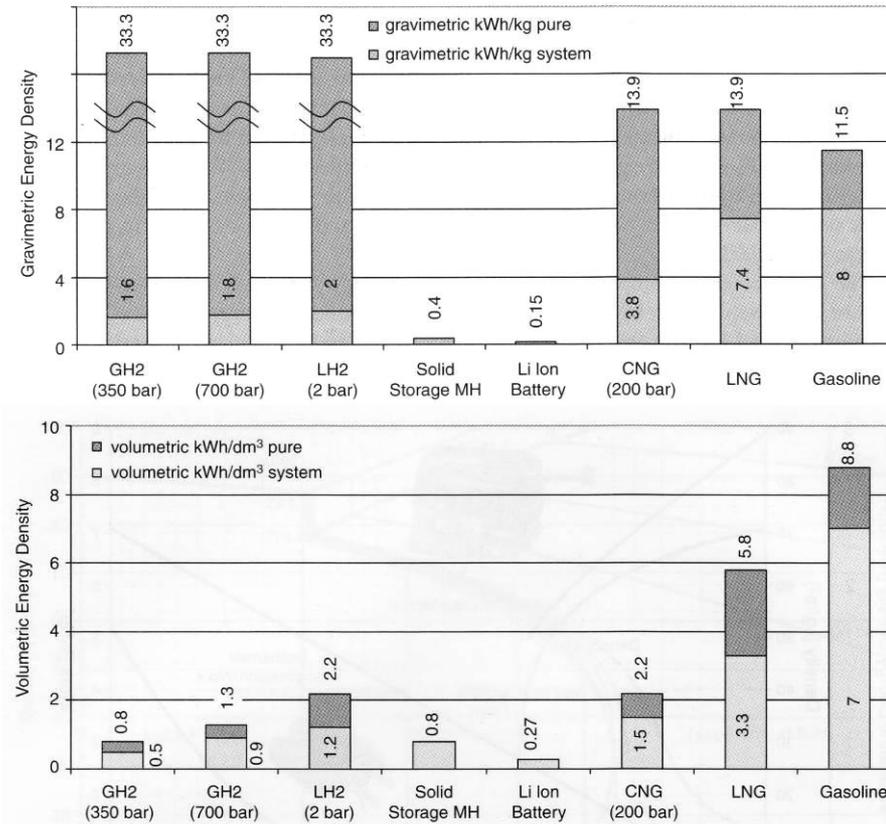
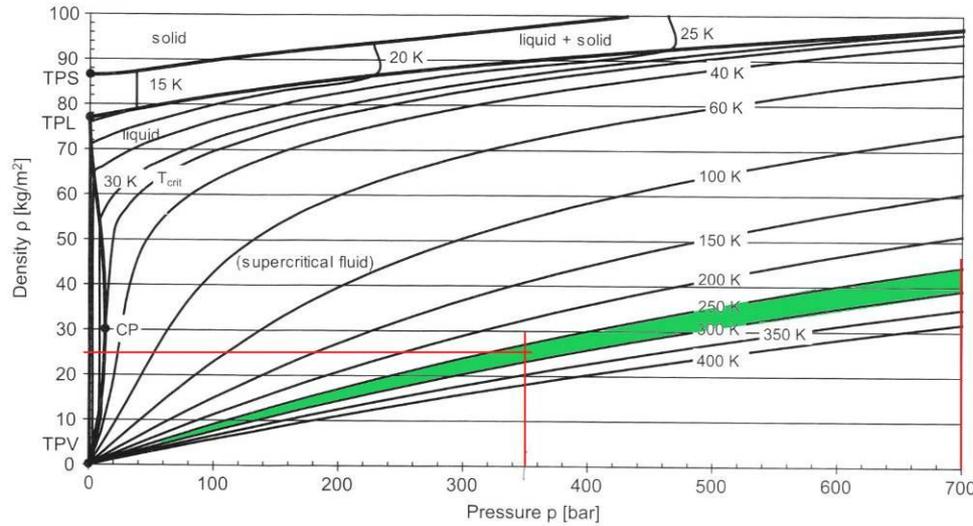
Projected Ranges of System Volumetric Storage Capacity
For Chemical, Metal Hydride, Sorbent and Physical Storage Technologies



Capacités : Enjeux Vs Etat de l'art



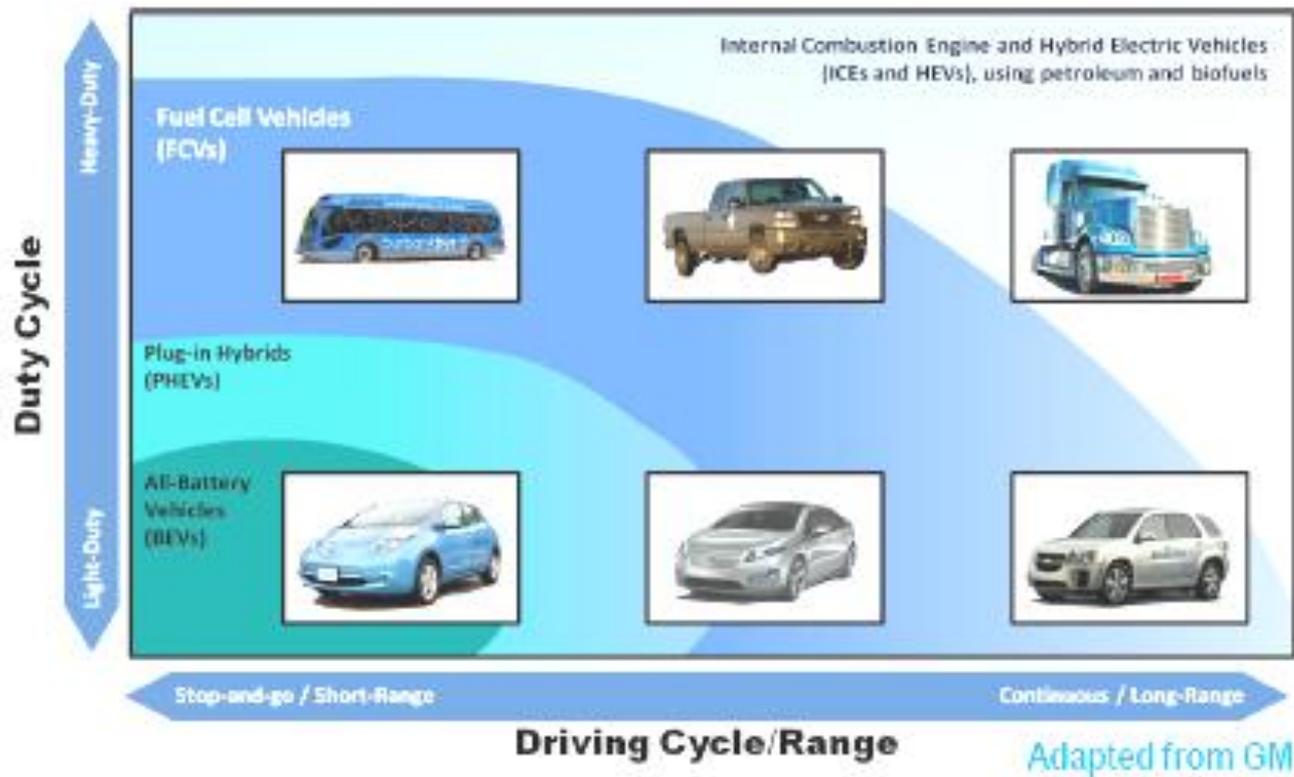
Target	2015	2015	Ultimate*
	new	old	new
System Gravimetric Density [wt.%] (kWh/kg)	[5.5] (1.8)	[9] (3.0)	[7.5] (2.5)
System Volumetric Density [g/L] (kWh/L)	[40] (1.3)	[81] (2.7)	[70] (2.3)
System fill time for 5-kg fill [min] (kgH ₂ /min)	[3.3] (1.5)	[2.5] (2.0)	[2.5] (2.0)
System cost [\$ / kgH ₂] (\$ / kWh _{net})	TBD	[67] (2)	TBD



Source : Handbook of hydrogen storage, Wiley 2010



- Usages : Des marchés bien identifiés ...
« range extender », secouru ou niche



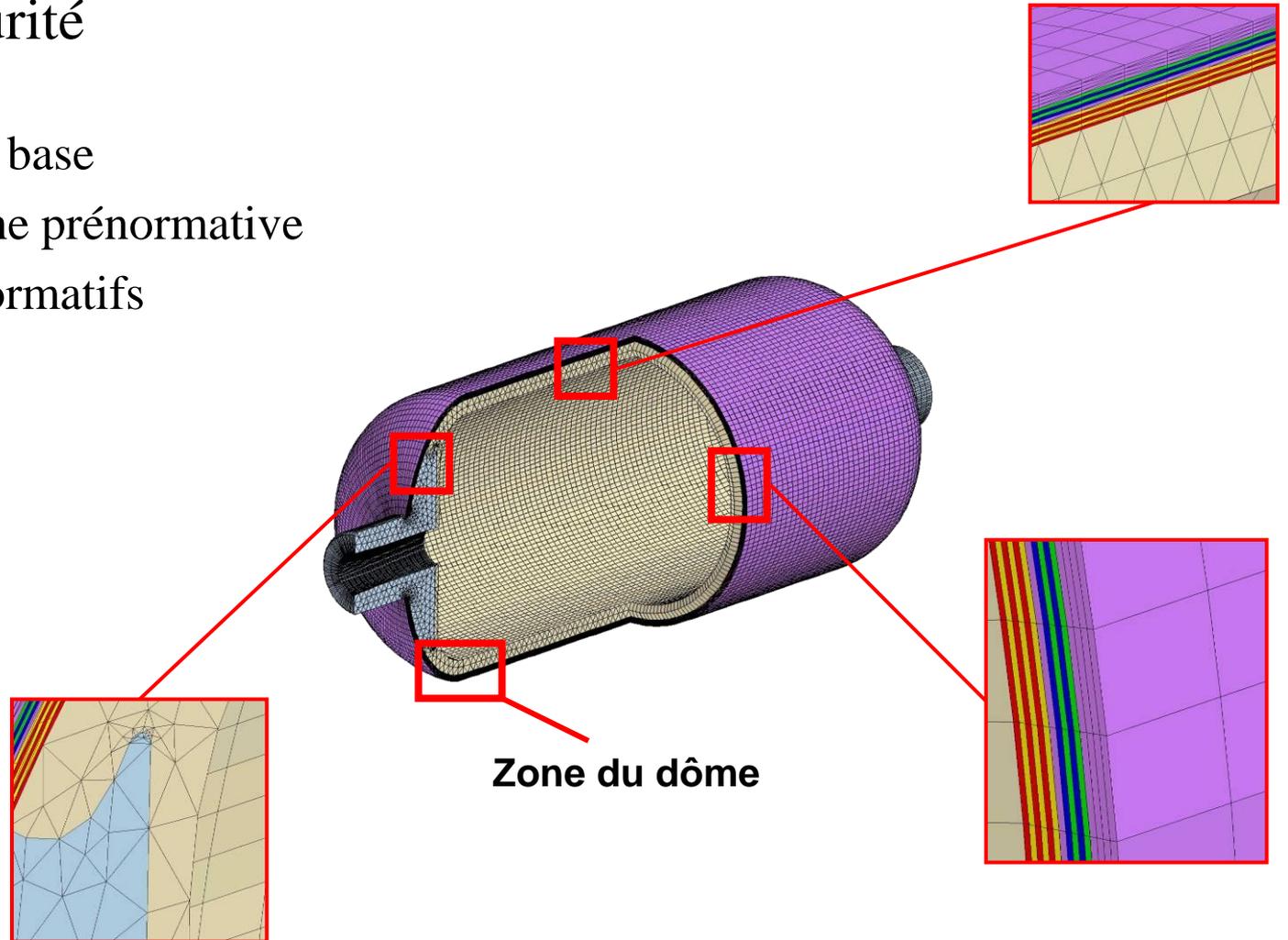


- Sécurité

Etude de base

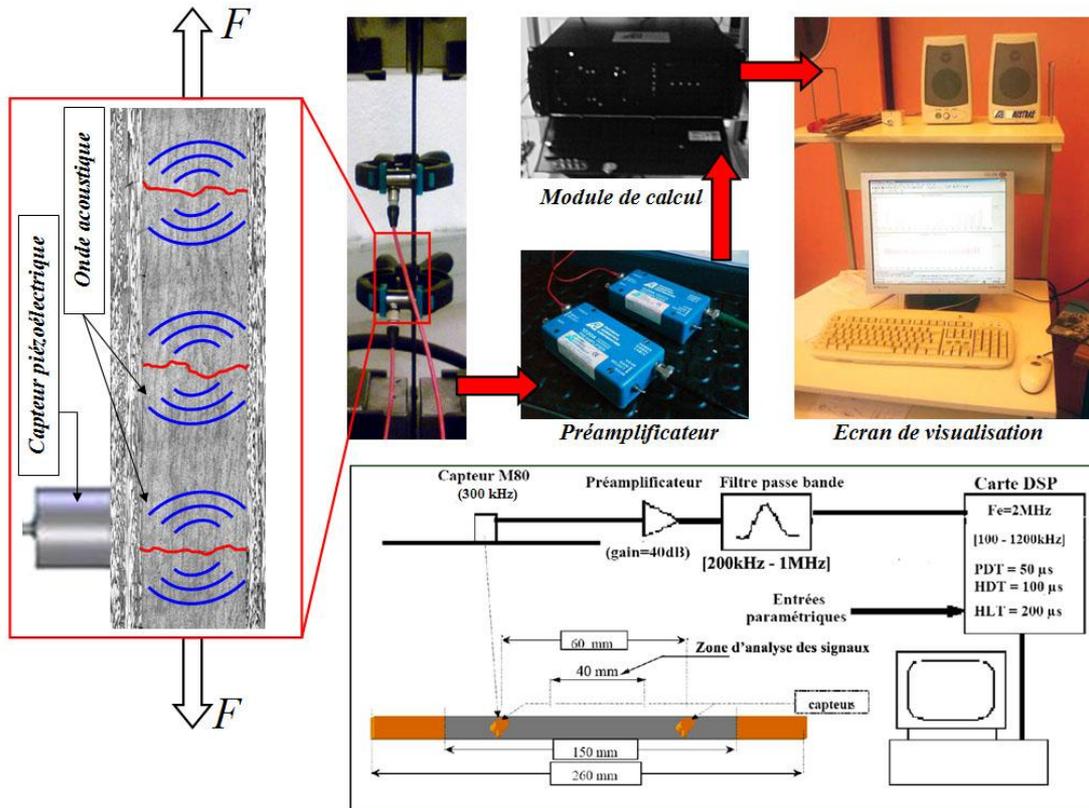
Recherche prénormative

Essais normatifs



- Compréhension et maîtrise des modes de défaillance

Essais instrumentés / Suivi EA / Etalonnage sur éprouvettes / essais sur réservoirs



Projet ANR Endemat - Source : CEA ; Armines

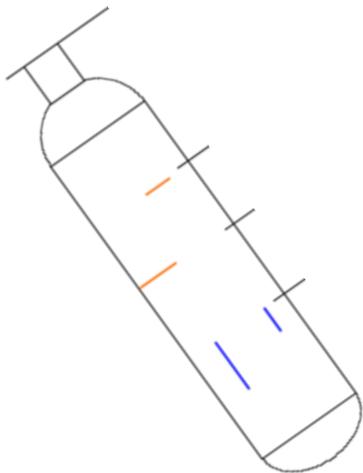
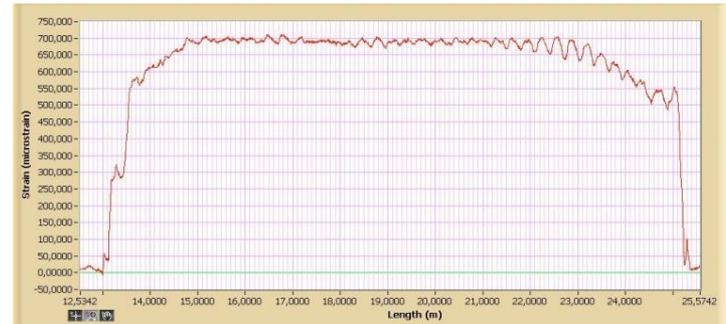


Compréhension et maîtrise des modes de défaillance

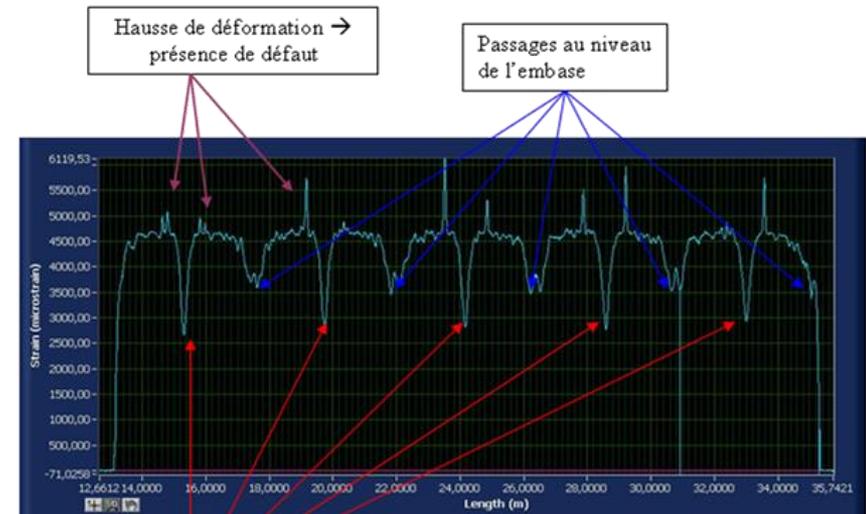
Instrumentation CFO



Bouteille saine :
profil de déformation



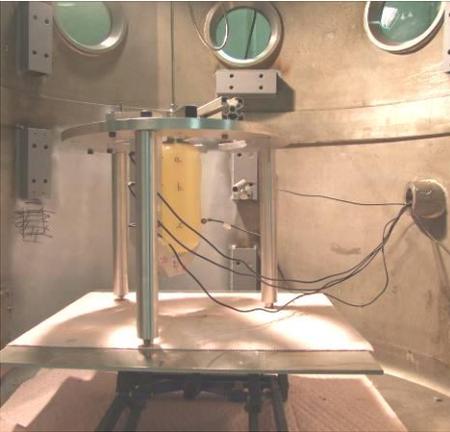
Bouteille endommagée :
singularités du profil de déformation



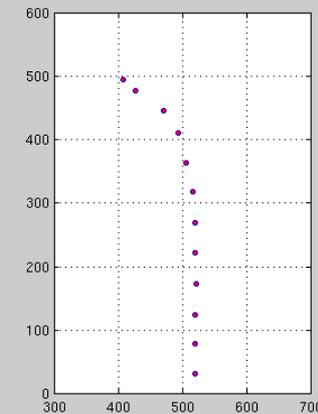
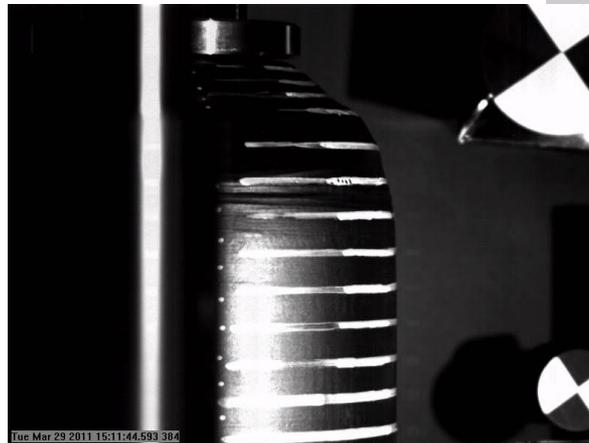
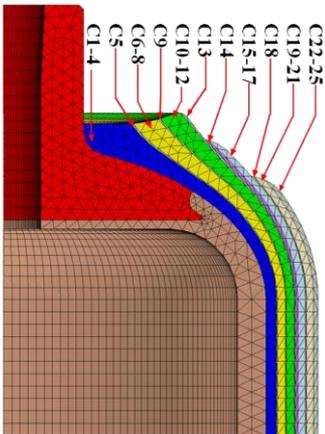
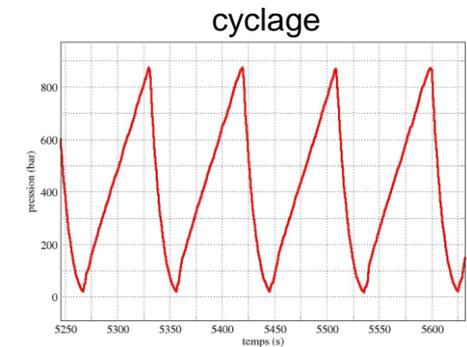
Passages en fond de bouteille d'où une baisse de la déformation

Projet H2E - Source : CEA

- Compréhension et maîtrise des modes de défaillance
Essais hydrauliques fortement instrumentés



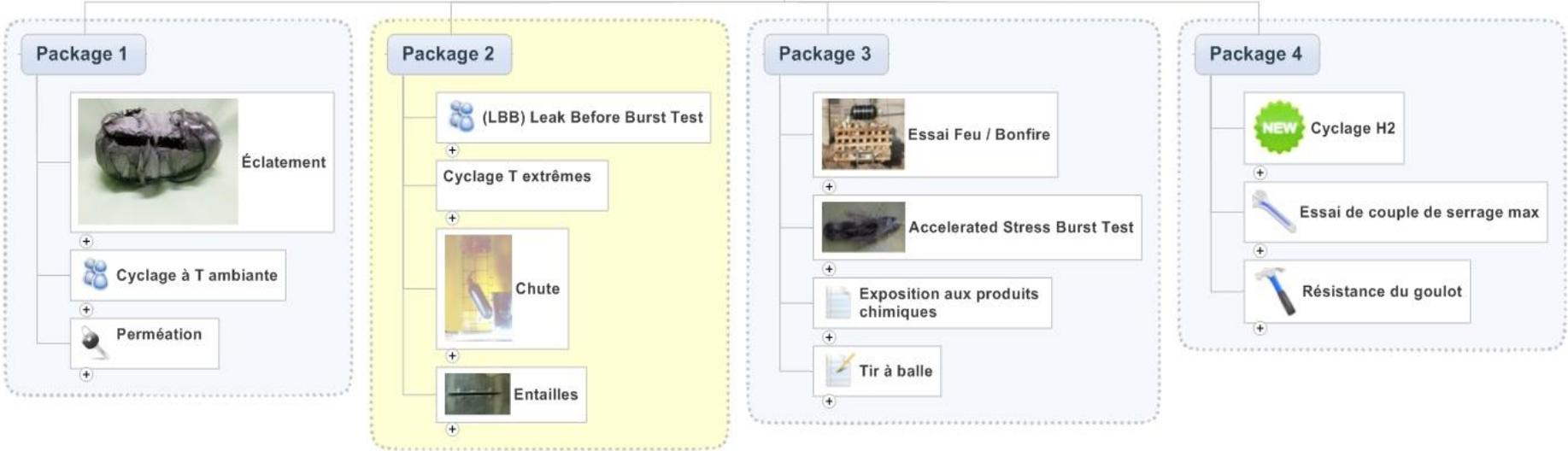
Corrélation déplacements, calculs,
expérience avec palpeurs et
corrélation 2D/3D
→ permettre l'optimisation de structures





Essais qualitatifs / Réservoir CEA

Cadre réglementaire
Normes "embarqué" et "transportable"
(ISO 15869/EN406-2010 ; EN12245)



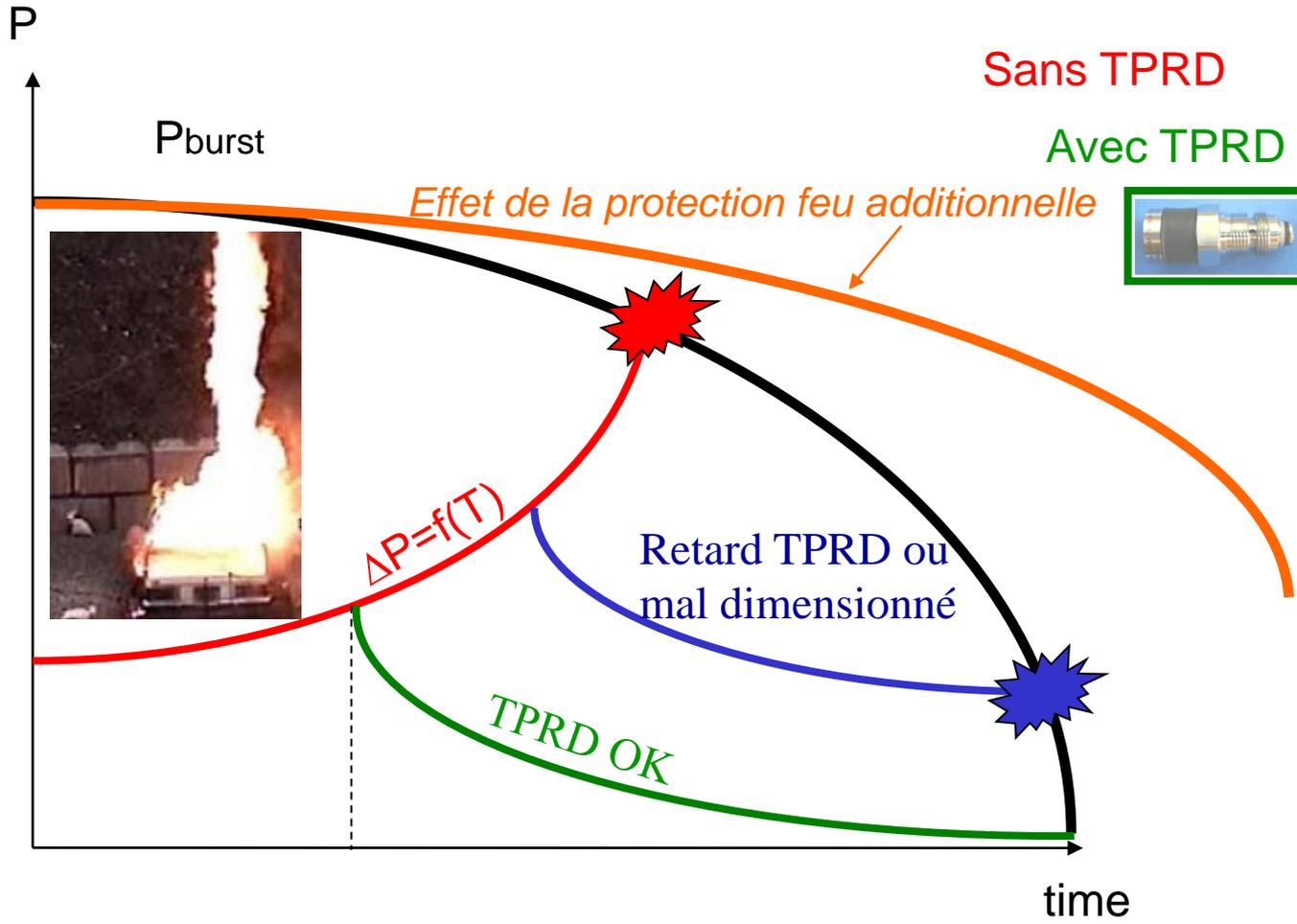


Compréhension et maîtrise des modes de défaillance

Comportement des réservoirs soumis à un incendie



30min @ 1000°C
Peinture époxy intumescente



Projet ANR HYPE - Sources : CEA/AIR LIQUIDE /INERIS



energie atomique • énergies alternatives

- Compréhension et maîtrise des modes de défaillance

Essai Feu



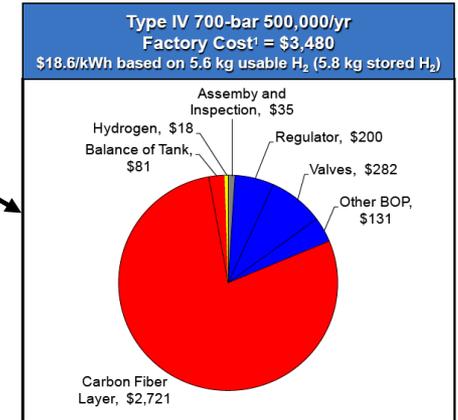
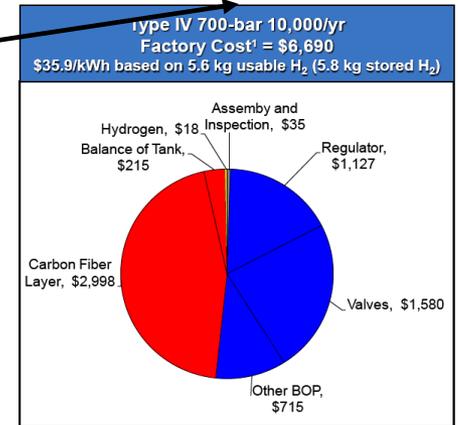
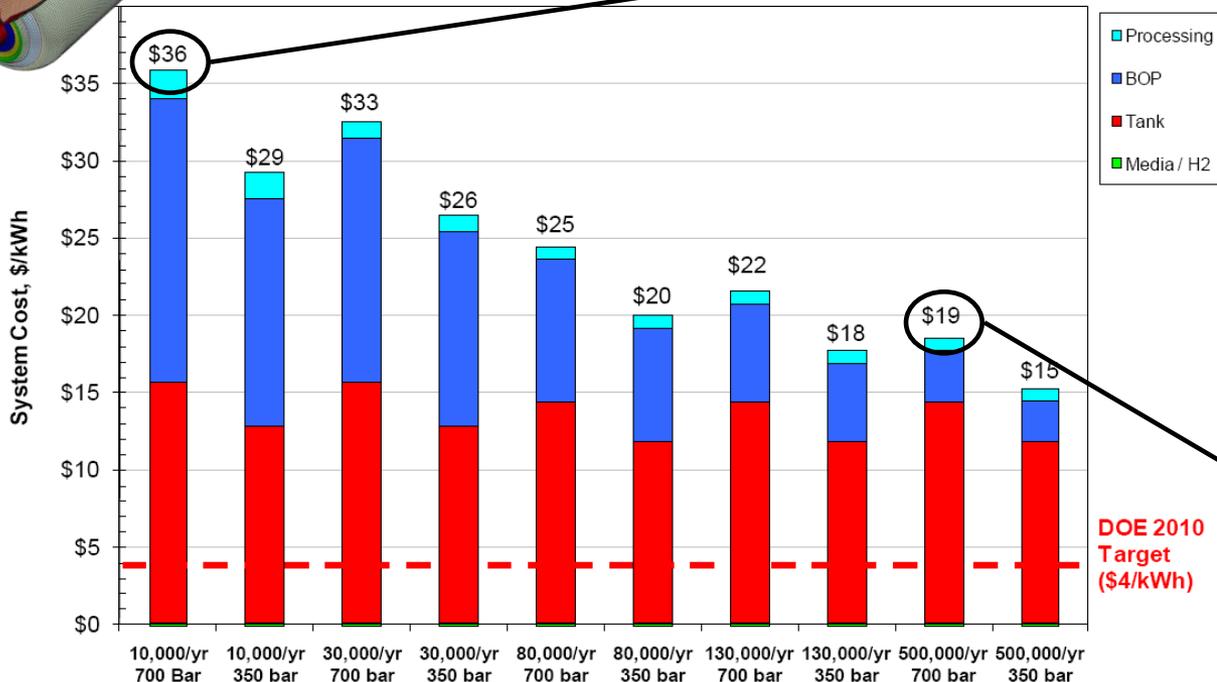
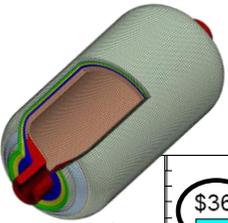


- Compréhension et maîtrise des modes de défaillance
Essai de perforation (tir à balle)



- Perspectives d'évolution

Le COÛT : Obstacle de rang 1 au déploiement massif de ces technologies

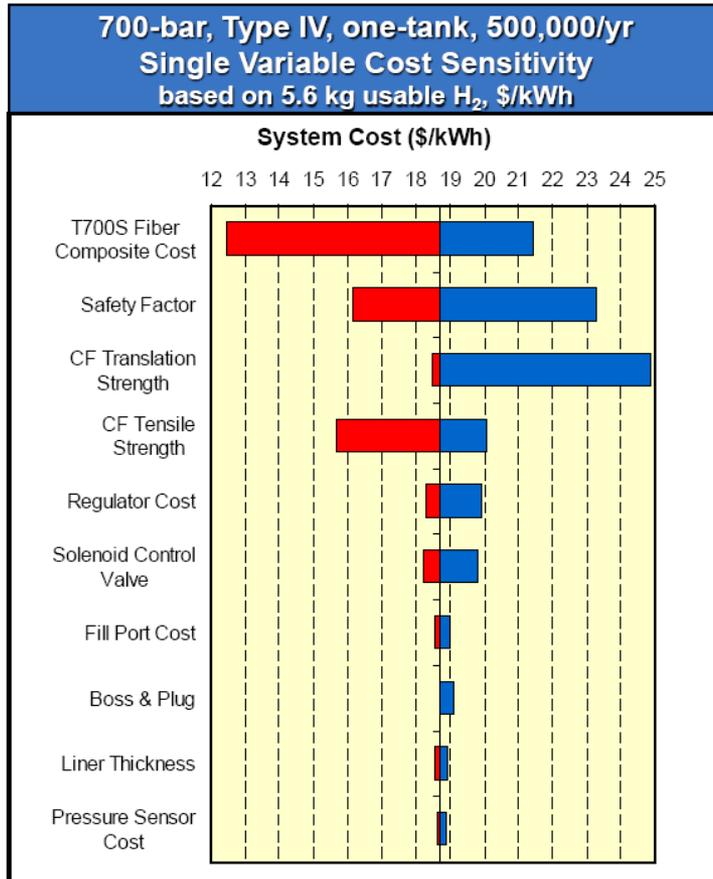


¹ Incluant les coûts de fabrication

Source: DoE AMR 05/2011, Project ID: ST002, K. Law (TIAX)

- Le coût

Obstacle de rang 1 au déploiement massif de ces technologies



Quelles alternatives ?

- 1) optimisation des structures
- 2) RCS
- 3) autres fibres ... HR
- 4) Procédés automatisés, fortes cadences...
- 5) Protections externes

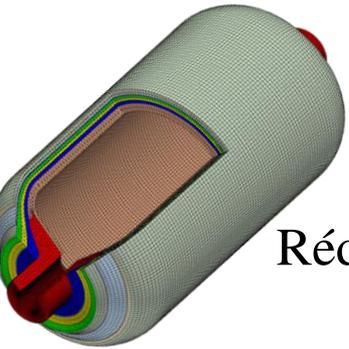
Source: DoE AMR 05/2011, Project ID: ST002, K. Law (TIAX)



- Perspectives d'évolution

Conception optimisée des réservoirs avec prise en compte

des *caractéristiques réelles des matériaux* avec distribution de perfs
de la *géométrie réelle* des structurations réalisées (dômes)
des *interfaces* et des phénomènes connexes
des *endommagements* - de la *durabilité* -

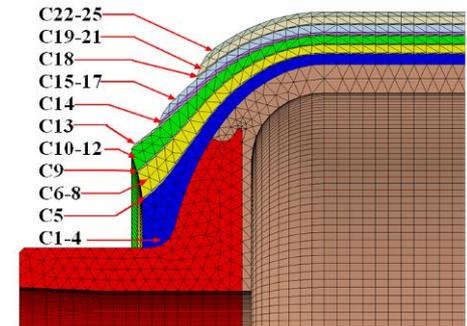


Réduction des coûts

Amélioration des matériaux fibreux et organiques
Automatisation des procédés conventionnels
Traçabilité, monitoring des process de fabrication

- Rupture !

Fibres / procédé / volume



Source : Projet ANR Osirhys-4 /CEA-Armines



- RCS

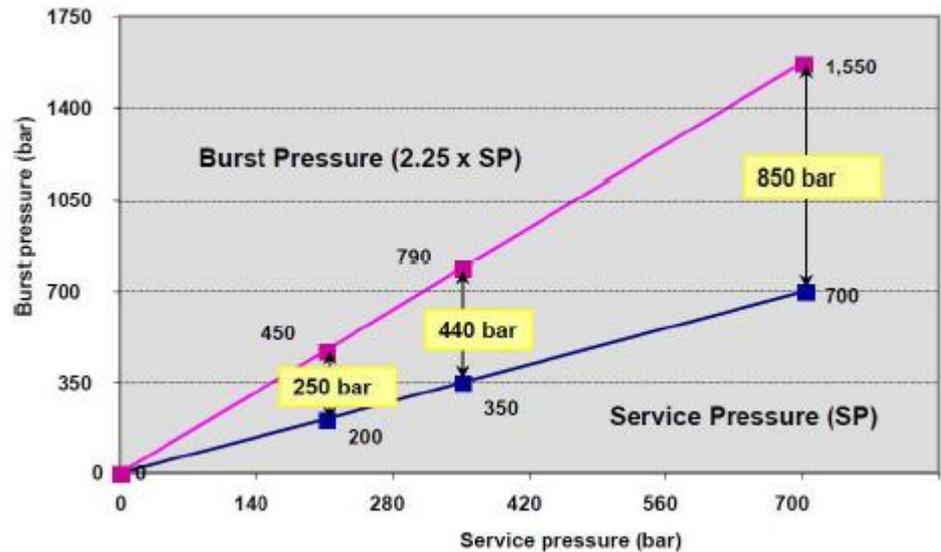
Nécessité de capitaliser les connaissances pour faire avancer les standards

Les standards (ISO/EN) sont dérivés des normes développées pour les réservoirs métalliques (type-I) basse pression

Certains tests sont donc non discriminant et parfois non adaptés (e.g. pression d'épreuve, fatigue thermomécanique...)

Les coefficients de sécurité sont « hérités » et non le fruit d'une démonstration expérimentale et scientifique. Ils demeurent conservatifs.

Faisabilité de réépreuve périodique non destructive. (CND)



Besoin de travaux scientifiques à but prénormatif pour constituer un socle commun accepté par tous.

Fondé sur des critères de performances, sur la notion de risque/sûreté et alimenté par des démonstrations scientifiques et expérimentales.



- Le coût

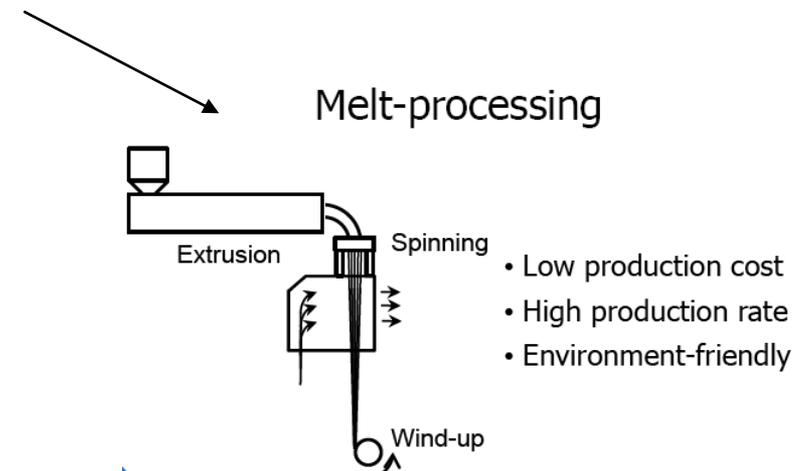
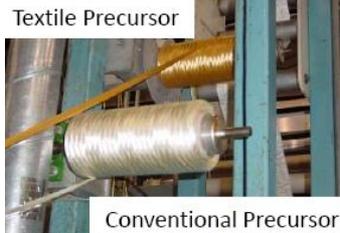
Obstacle de rang 1 au déploiement massif de ces technologies

Quelles alternatives ?

1) autres fibres ... HR

Développer/Utiliser des fibres de grade industriel (les certifications sont coûteuses et limitent la capacité d'amélioration continue des fabricants).

Trouver des précurseurs ou procédés de production « low cost »



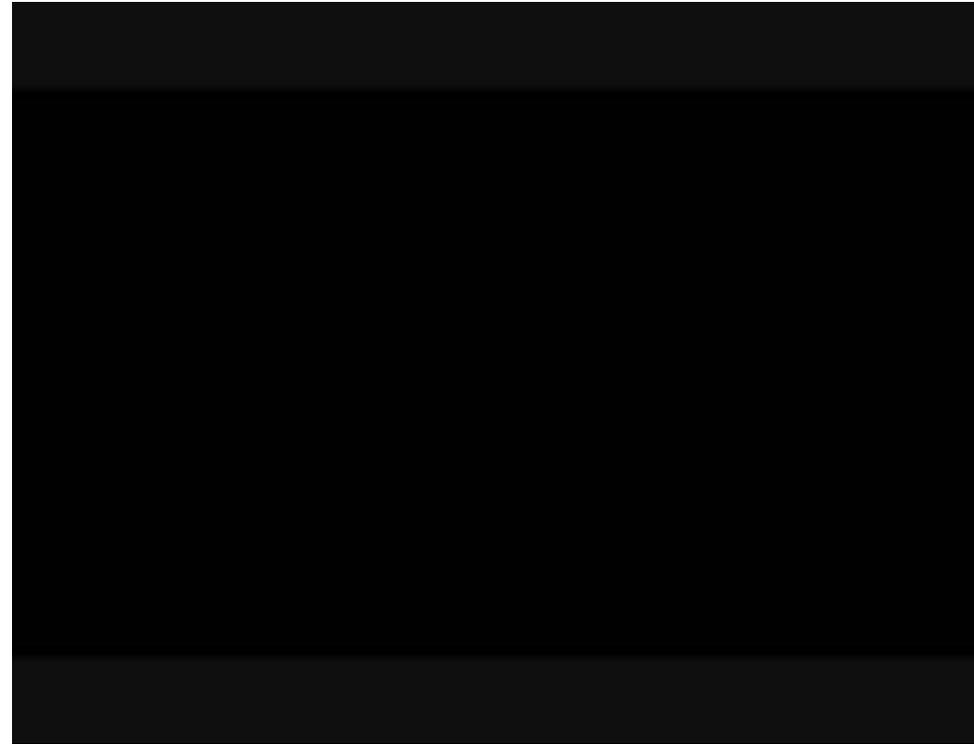


energie atomique • énergies alternatives

- Le coût

Obstacle de rang 1 au déploiement massif de ces technologies

Des améliorations procédés ... des ruptures



Source: MFTech – www.mftech.com

CGH2 : Activités CEA – Site du Ripault (37)

Du matériaux ... aux prototypes



Synthèse et formulation matx
 Développements Procédés
 Equipements de transformation
 Fabrication prototypes
 Caractérisations performances,
 durabilité et environnementales

Conception, modélisation & design
 Equipements de bobinage
 Développements Procédés
 Fabrication prototypes
 Caractérisations matériaux et
 objets

Réalisation tests fortement
 instrumentés
 Développement instrumentation
 intégrée aux objets
 Corrélations calculs / expérience
 Actions prénormatives



Remerciements



L'ANR et Oséo pour leur soutien financier aux projets collaboratifs CGH2 [ANR Hybou, Hype, Endemat, Osirhys4, OSEO H2E...]
L'ensemble de nos partenaires des projets collaboratifs et industriels dont Raigi, SymbioFCCell, MFTech, TORAY CFE, Air Liquide...