

Photovoltaïque (PV), autoconsommation et stockage





- 1. Quelques expériences personnelles**
- 2. L'évolution du PV en Suisse**
- 3. L'autoconsommation, un instrument efficace**
- 4. Le stockage d'électricité, qu'en est-il?**
- 5. Perspectives et idées**



1. Quelques expériences personnelles



Je ne suis pas électricien, mais généraliste de l'énergie !

- 1968 EPFL diplômé en génie-civil
- 1969 Ingénieur au bureau Panchaud-Derron- Stucky spécialisé en barrages
Chargé de mission au Libéria pour l'amélioration du fonctionnement de la centrale Mount-Coffee à Monrovia en collaboration avec la société Traction Electricité à Bruxelles.
- 1974 Directeur bureau ing Schindelholz&Deneriaz Fribourg
Chef projet pour la construction réseau gaz naturel MP FIRGAZ en ville de Fribourg
Coordinateur pour l'assainissement des réseaux d'eau de 10 villes en Tunisie (diagnostic, plan directeur et projets)
- 1981 Fondateur, co-actionnaire et directeur de GEIMESA – **G**estion de l'**E**nergie Industrielle, **M**anagement Et réalisations SA (EEF, CVE, SRE, GANSA, Audergon)
Spécialisé dans les chauffages à distance et CCF. Concept, montage et réalisation CADBAR, PLACAD, FIRCAD 1, participation à la conception projet CADIOM avec Tschokke SA puis avec le Consortium VULCAIN dans le cadre de la concession. Conception, réalisation et expérimentation pour l'OFEN d'une installation PV hybride au Centre d'entretien de Domdidier Conception, projet, réalisation et expérimentation d'une mini-voiture électrique MOBILEC, avec moteurs dans les roues (1981-1991) sur mandat de l'OFES suite à un concours d'idée.
- 2011 Ingénieur-conseil indépendant en énergie et sécurité
BAMO pour le Service des Energies d'Yverdon-les-Bains (SEY) pour les chauffages à distance
Analyse des risques pour les cantons de FR (2004), VD (2008), VS (2010), NE (2012), actualisation AR GE (en cours)



Centre d'entretien autoroutier de Domdidier – Système hybride simple PV/T sur sheds (1996)

Projet OFEN P+D – étude de l'efficacité d'un système hybride PV/T – cas halle industrielle



Surface vitrée shed : 77,2 m²
 Surface brute cellules PV : 46,6 m² (60%)
 Puissance installée PV : 6'700 Wp

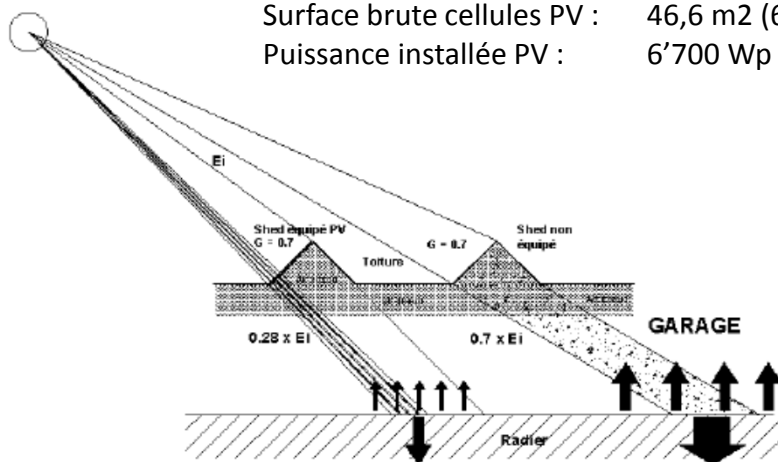
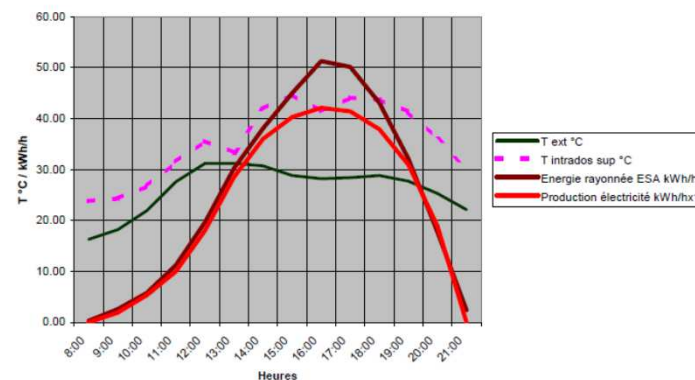


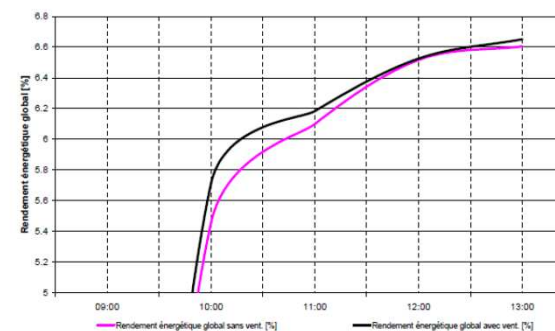
Figure No 4 Profil journalier horaire températures extérieure T_{ext} , intrados, énergie rayonnée E_{SA} et production d'électricité pour le mardi 24 août 1999, représentatif d'un jour type ETE

Production journalière d'électricité E_{10} : 31.1 kWh
 Énergie rayonnée dans le plan des capteurs $E_{S,A}$: 349,5 kWh.



Production annuelle : 5'340 kWh

Figure No 9 Evolution du rendement électrique comparée pour le cas sans ventilation (3.05.00) et avec ventilation (5.05.00)



Mini-véhicule électrique MOBILEC avec moteurs dans les roues

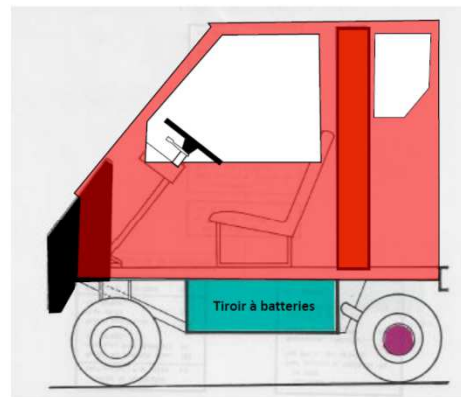
Conception (1981), concours OFES (1984), planification (1986), construction (1987), expérimentation (1989-1991)

Objectif : alimenter MOBILEC par du PV stationnaire !

Concept mini - VER : **réponse MOBILEC**

Largeur : 1,40 m
Longueur : 2,00 m
2 adultes
2 enfants

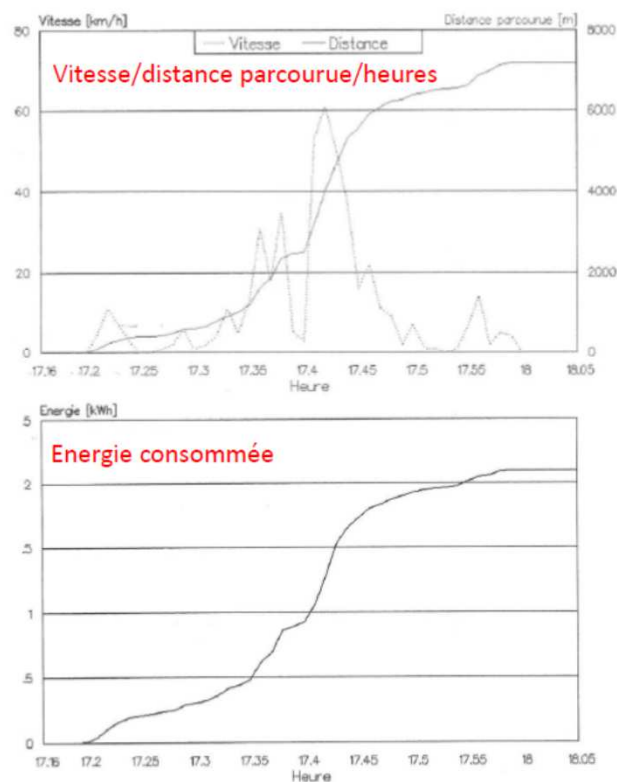
Bouclier avant de protection déformable



Objectif : abaisser la consommation d'énergie des VER !

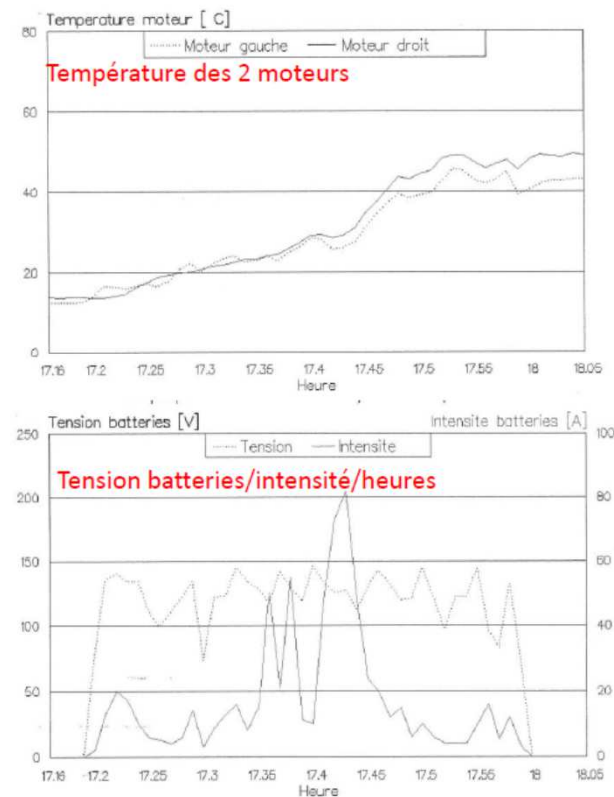
ETAPE III Expérimentation du prototype MOBILEC - performances

Exemple : parcours 3 Villars-sur-Glâne – Rosé / Résultats des mesures de la chaîne d'acquisition embarquée



Vitesse max : 60 km/h

Consommation électricité :
Moyenne 292 Wh/km





2. Evolution du PV en Suisse

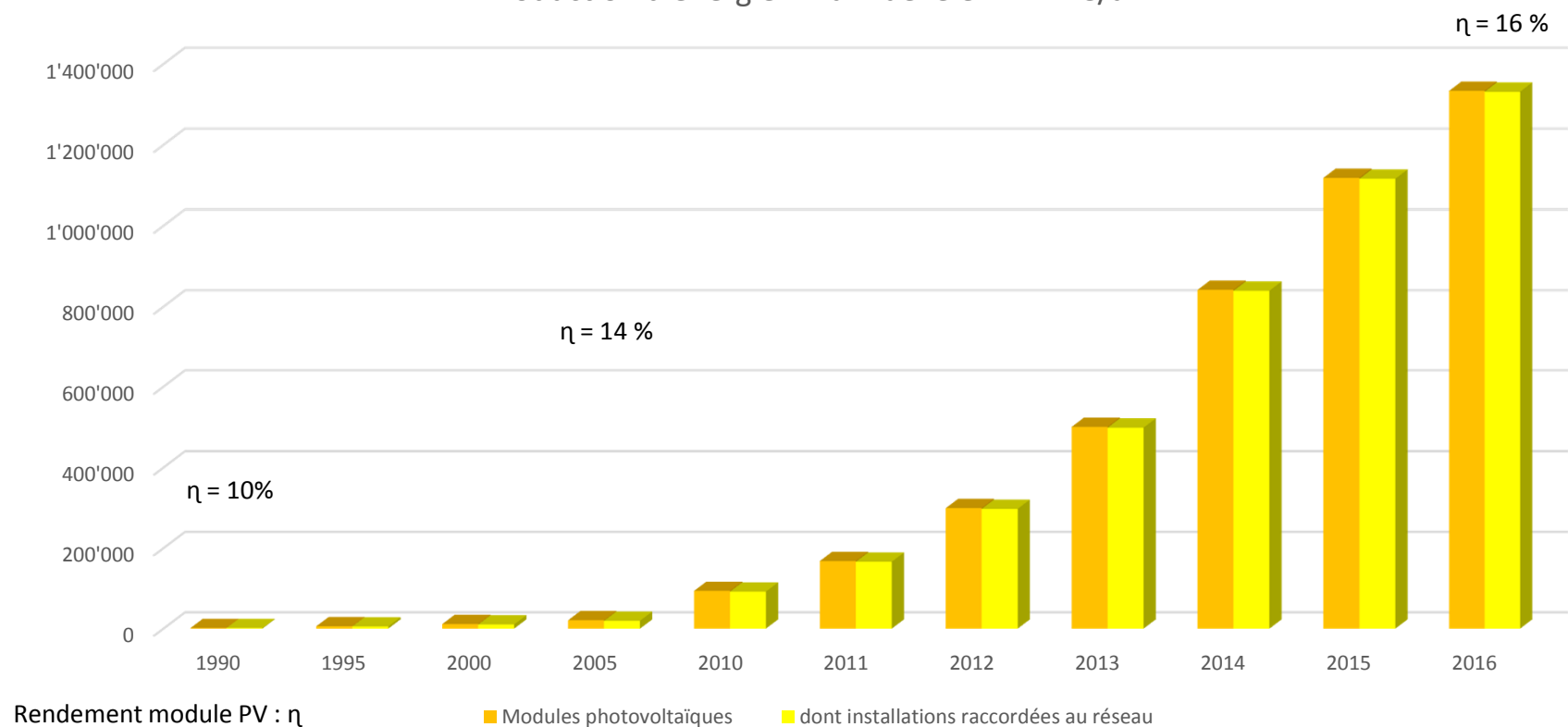


Histoire en raccourci de l'énergie photovoltaïque

1839	<i>Phénomène photovoltaïque</i>	Alexandre Edmond Béquerel, physicien
1954	<i>Technologie photovoltaïque (PV)</i>	Laboratoire Bell – naissance PV
1958	<i>Premiers pas du PV</i>	Premiers satellites alimentés avec PV
1970	<i>Début usage courant</i>	Cellules PV moins coûteuses
1994	<i>Création SWISSSOLAR</i>	Marque le début de l'essor PV en Suisse
2013	<i>Véritable essor en Suisse</i>	La production dépasse les 500'000 MWh/an

Evolution de la production annuelle du PV en Suisse

Production d'énergie PV annuelle en MWhe/an

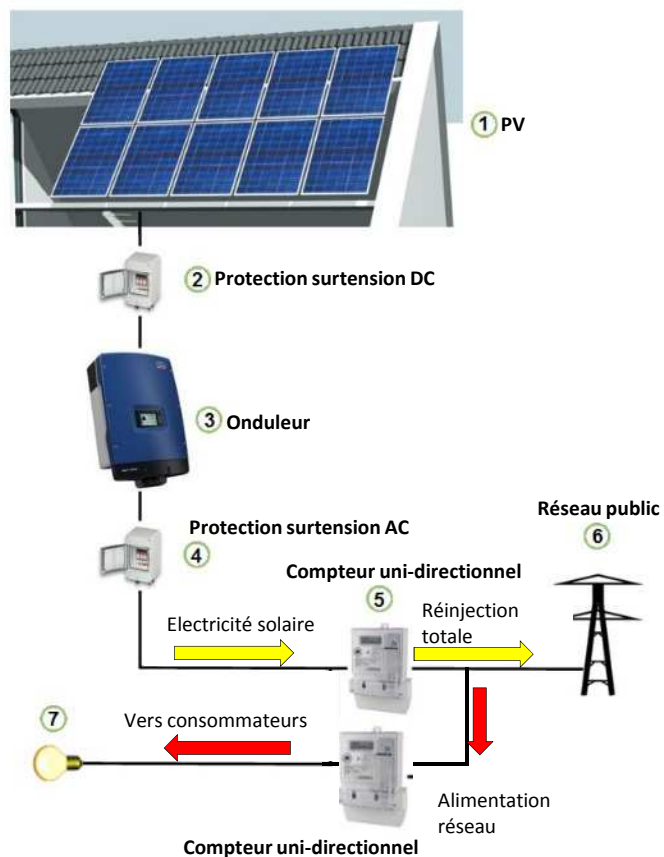


Production d'énergie annuelle	Unité	Production annuelle de courant photovoltaïque										
		1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Modules photovoltaïques	MWhe	1 450	5 930	11 190	20 740	93 640	168 050	299 470	500 470	841 570	1 118 550	1 333 430
dont installations raccordées au réseau	MWhe	1 310	5 360	10 180	19 470	91 990	166 260	297 710	498 760	839 510	1 116 360	1 331 380
Part d'installations raccordées réseau	%	90,3%	90,4%	91,0%	93,9%	98,2%	98,9%	99,4%	99,7%	99,8%	99,8%	99,8%

Modes de réinjection des installations PV dans le réseau

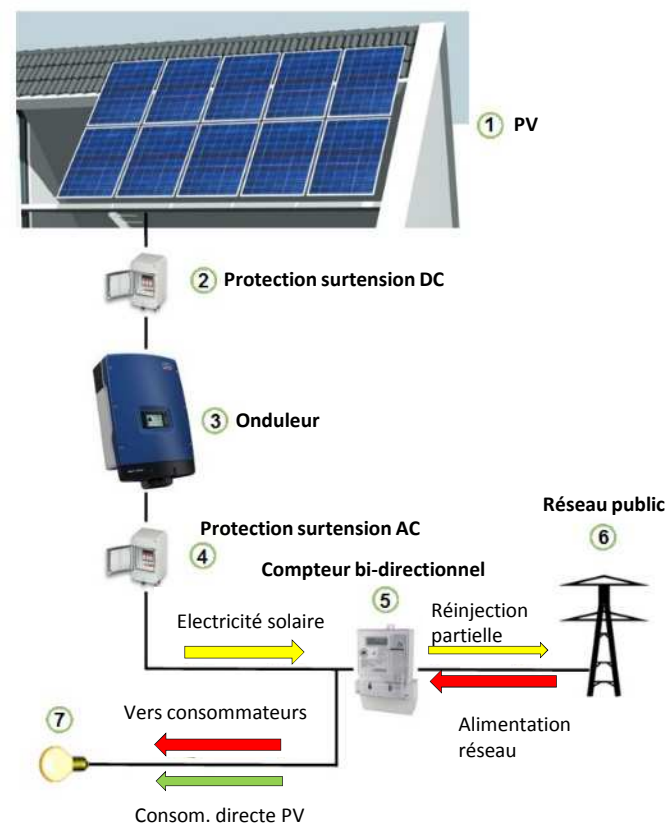
< 2010

Réinjection totale



> 2010

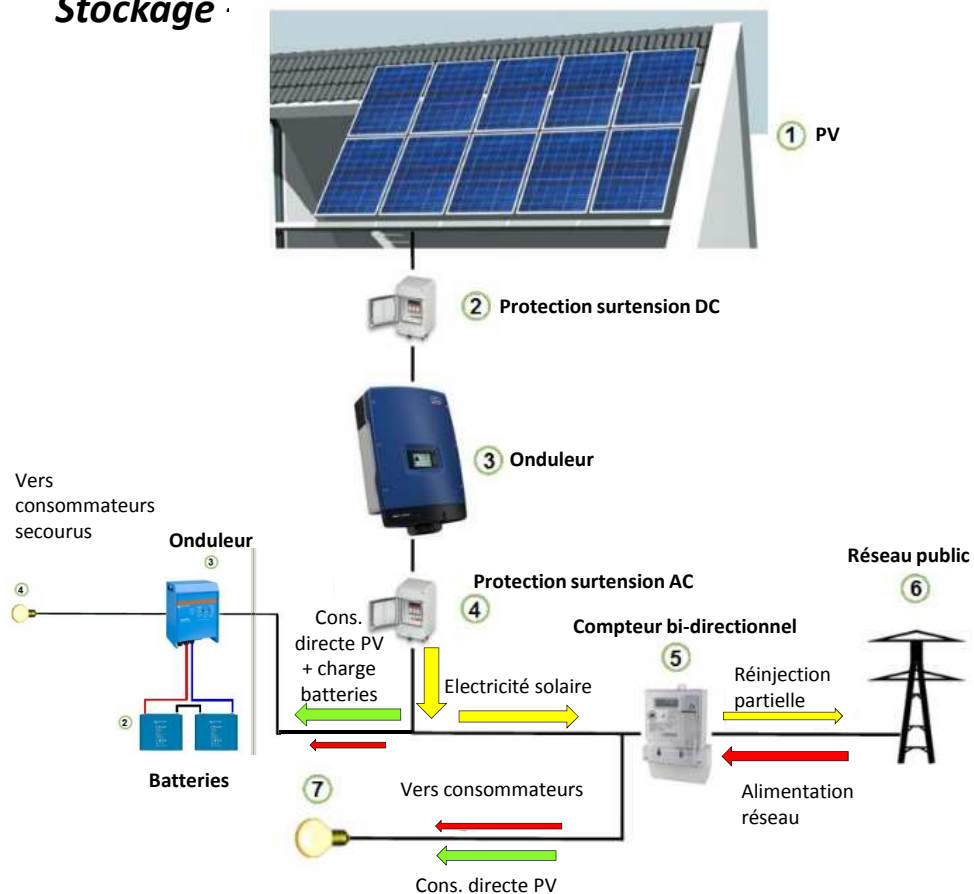
Réinjection partielle



Modes de réinjection des installations PV dans le réseau

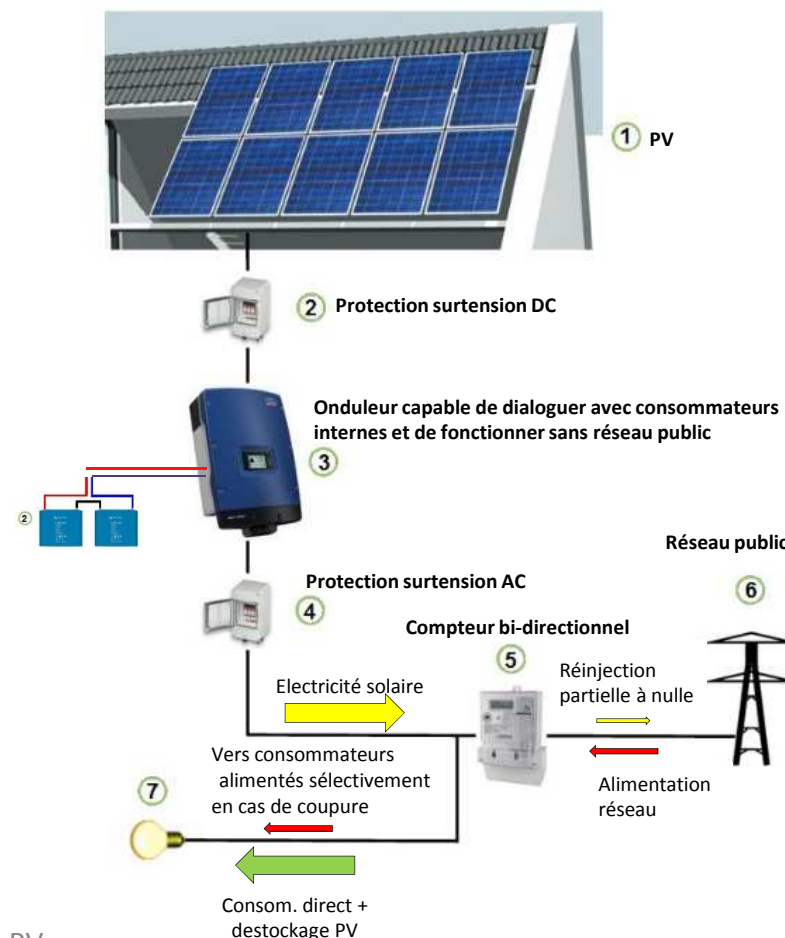
> 2014

Stockage

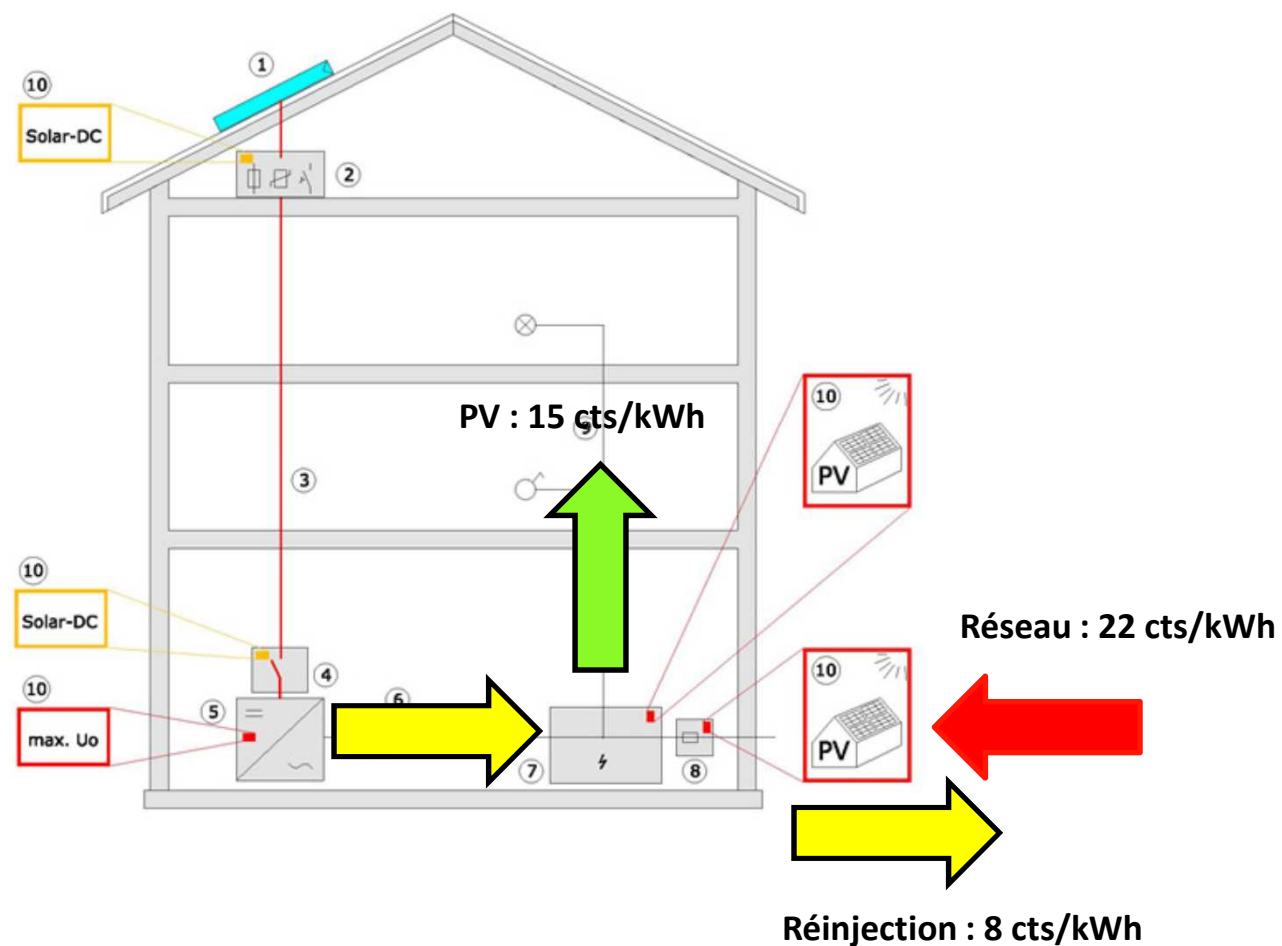


> 2016

Stockage + réinjection partielle à nulle

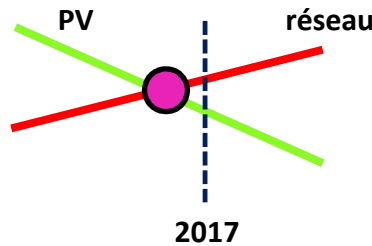
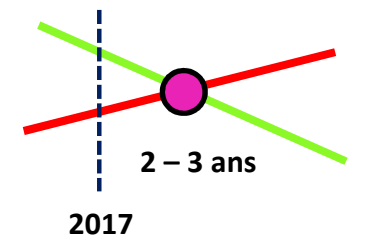


Prix de l'électricité : exemple dans le cadre du marché actuel de l'électricité





Nous sommes à la croisée des chemins !

BILAN			
Installation	énergétique	financier	environnemental
PV	Rendement 	Evolution prix 	Impact 
stockage <i>batteries</i>	Rendement 	PV+batteries 	Impact Dépend de la technique de stockage Stockage électro-chimique 



3. L'autoconsommation, un instrument efficace

Définitions

Taux d'autosuffisance :

Rapport entre la production propre en courant PV (jaune dans l'exemple) et la consommation totale d'électricité (rouge dans l'exemple).

Exemple : taux d'autosuffisance = $633/265 = 238 \%$

Taux d'autoconsommation :

Rapport entre la consommation directe de courant PV (vert dans l'exemple) et la production totale de courant PV (jaune dans l'exemple)

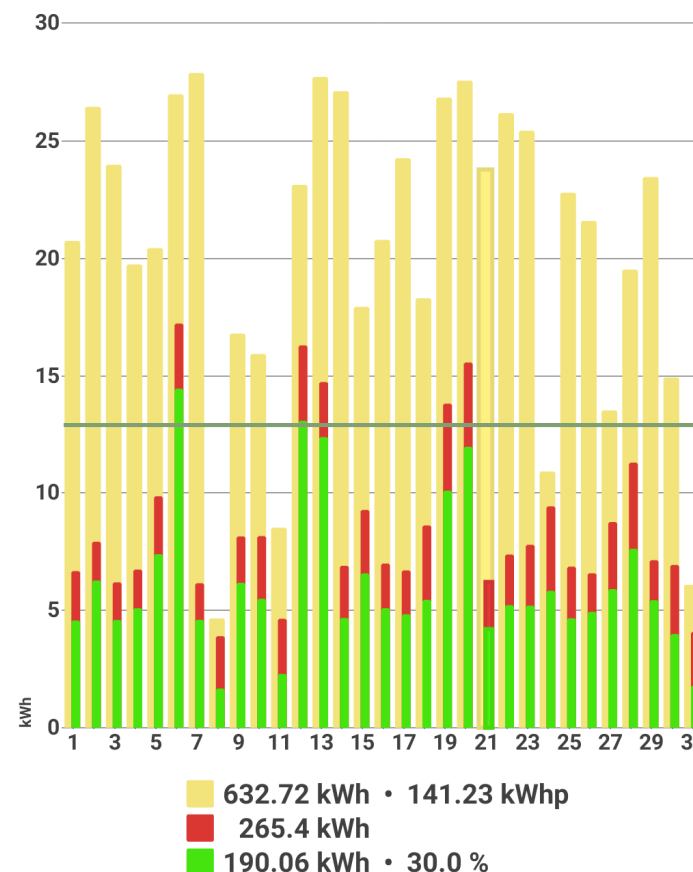
Exemple : taux d'autoconsommation = $190/633 = 30 \%$

Taux "d'autonomie":

Rapport entre la part autoconsommée PV (vert dans l'exemple) et la consommation totale d'électricité (rouge dans l'exemple).

Exemple : taux d'autonomie = $190/265 = 71.6 \%$

Exemple





Optimisation de l'autoconsommation



Moyen d'optimisation

1. Gestion manuelle
2. Gestion automatique – Smart Home

Possibilités d'optimisation

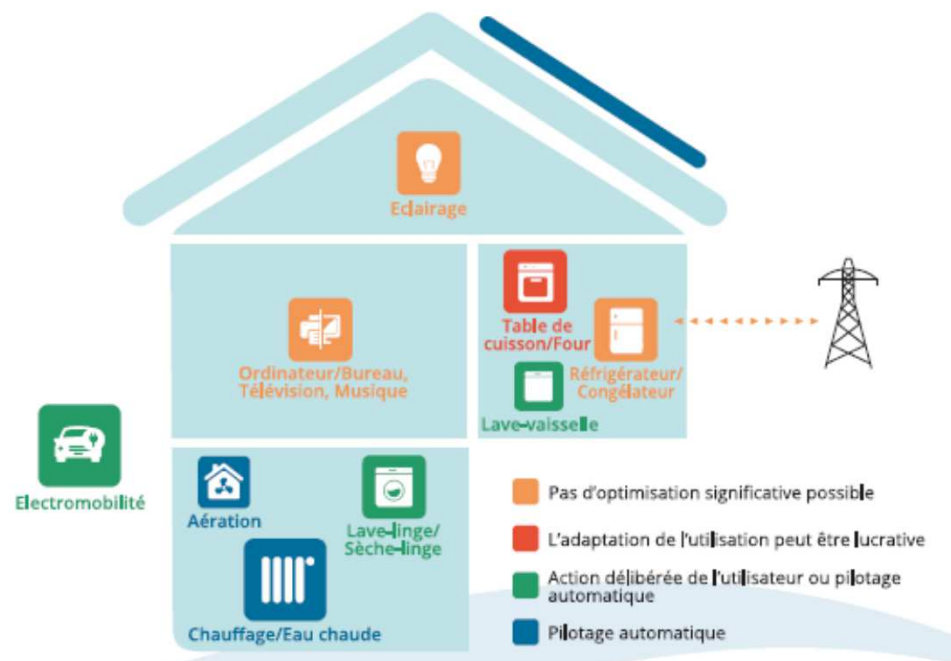


Schéma 3: Possibilités d'optimisation en maison individuelle. Les encadrés en vert et en bleu s'adaptent bien à l'optimisation de l'autoconsommation (machine à laver, séchoir, et lave-vaisselle utilisent jusqu'à 30 % des besoins en courant d'un foyer).



Optimisation de l'autoconsommation (extrait Manuel SEVE – page 13)

2.5 Part d'autoconsommation atteignable

Selon le groupe d'appareils optimisés les degrés d'autoconsommation possibles sont différents. Le schéma 8 montre les degrés possibles dans la pratique.

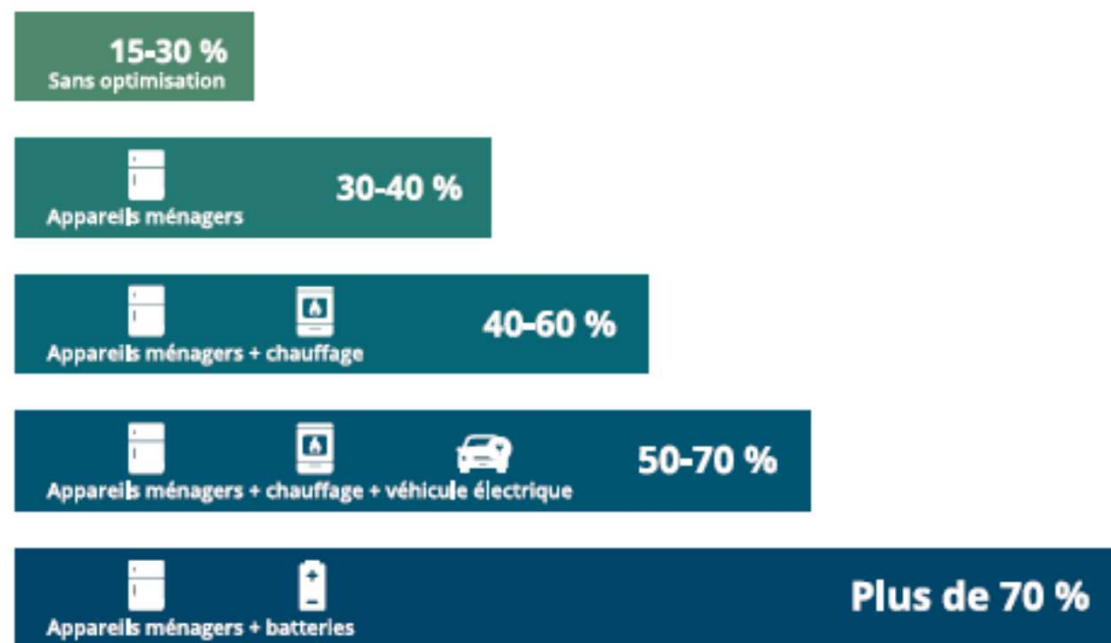
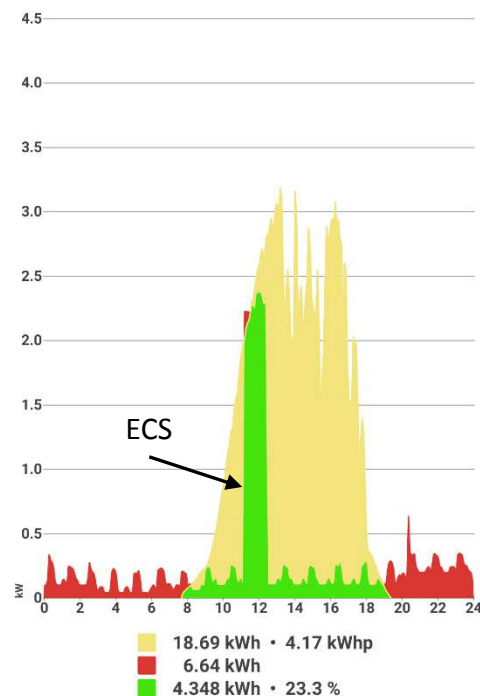


Schéma 8: Valeurs indicatives pour le degré d'autoconsommation possible en fonction des groupes d'appareils optimisés

Exemple pratique



25.09.17



Taux d'autoconsommation : 23,3 %

Taux "d'autonomie": 65,4 %

Villa équipée de PV :

4,5 kWp

25 m2

5'300 kWh/an

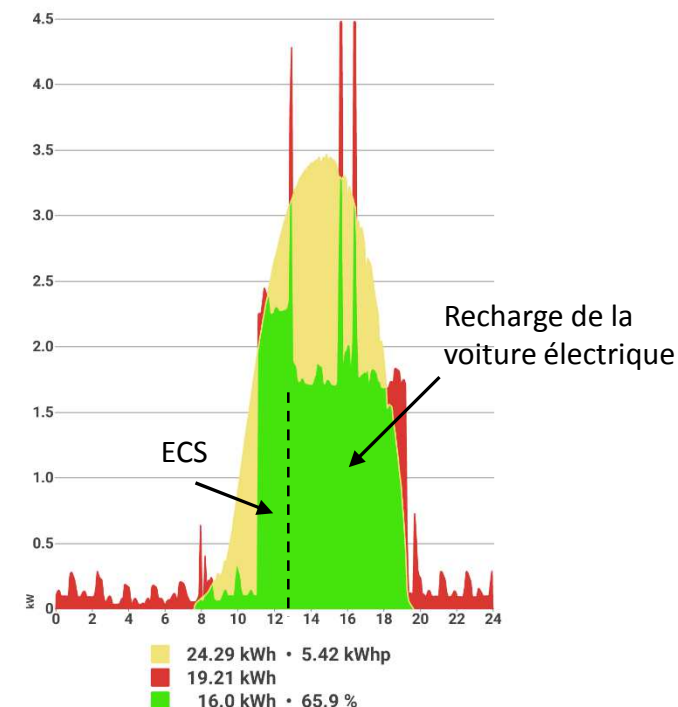
Particularités :

pilotage ECS et PV par data-logger (Solar-Log)

Charge batterie voiture électrique le week-end
Les autres jours, charge au bureau.



21.09.17



Taux d'autoconsommation : 65,8 %

Taux "d'autonomie": 83,3 %



4. Le stockage d'électricité, qu'en est-il ?



4.1. Généralités



Pourquoi stocker l'électricité ?

- ❑ **Le développement croissant de la production d'électricité renouvelable, décentralisée et intermittente rend plus difficile la gestion des réseaux. Stocker l'électricité a un rôle essentiel dans la stabilisation des réseaux**

- ❑ **Pour un auto-producteur d'électricité renouvelable, pouvoir stocker cette électricité lui permet d'accroître son auto-consommation, tirer un meilleur parti financier de ses achats d'électricité réseau et augmente sa sécurité.**



Intérêt du stockage :

☐ Niveau gestionnaire de réseau :

Régulation du réseau



Ecrêtage de pic



Régulation de fréquence



Réduction des infras



Négoce d'énergie



☐ Niveau industriel :

Augmentation autoconsommation



Déplacement des pics de consommation



Ecrêtage de pic



Alimentation sans interruption



☐ Niveau domestique :

Augmentation autoconsommation



Déplacement des pics de consommation autoconsommation



Alimentation sans interruption



Site isolé





Formes et caractéristiques générales de stockage :

Plusieurs formes de stockage :

- F1** **Stockage indirect de l'électricité**
- F2** **Stockage direct de l'électricité**

Capacité et durée variable selon type de stockage

- D1** **Journalier permettant de lisser Production/demande**
- D2** **Hebdomadaire voire saisonnier**
- D3** **Annuel**



Stockage indirect :

- ☐ **Stockage de chaleur ou de froid**

permet de déphaser la demande en électricité pour les processus de production de chaud ou de froid

- ☐ **Utilisation de l'inertie des bâtiments**

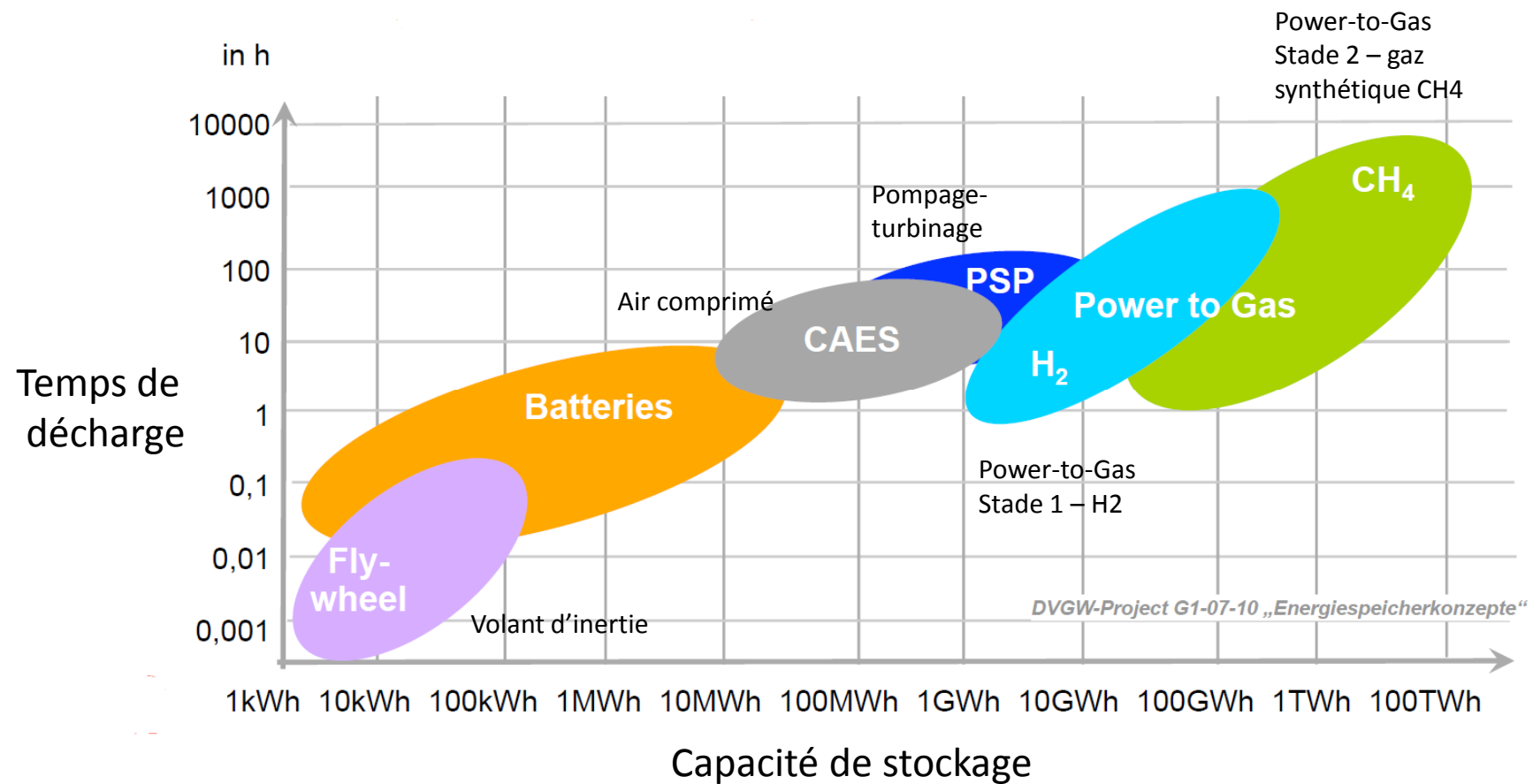
par une gestion anticipée des conditions climatiques (prédictive)
déplacement de la demande = quasi stockage à court terme

- ☐ **Combinaison des systèmes de gestion**

gestion prédictive de la demande en chaleur ou froid en utilisant l'inertie des systèmes combinée avec des stockages et gestion optimisée des prestations des différents appareils électriques du ménage/bureau



Stockage direct : capacité comparée des différents systèmes



Source : Fraunhofer



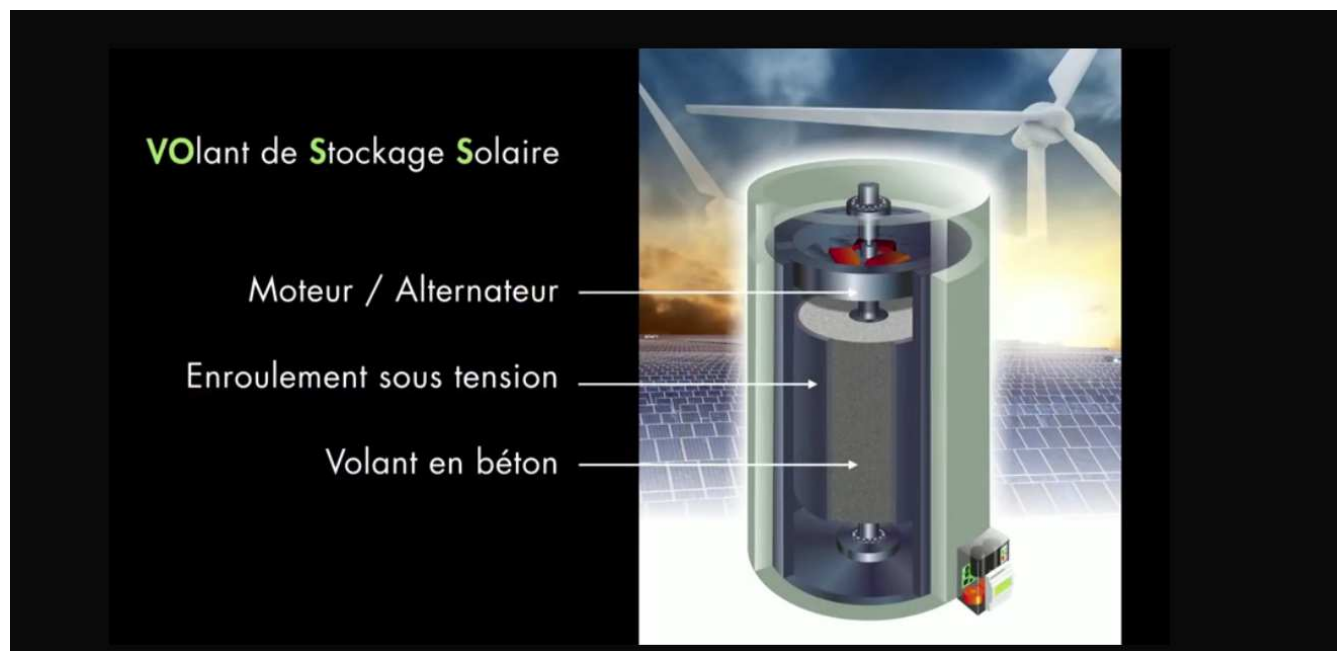
Stockage direct – Volant d'inertie

F2/D1 - USAGE : domestique ou embarqué (véhicules)

Capacité faible, technique de niche pour application domestique ou embarquée

Exemple : nouveau système avec volant en béton avec bande de serrage précontrainte

Système développé en France par ENERGIESTRO (André Genesseeux). Selon son inventeur, stockage à faible coût.





Stockage direct – Batteries

F2/D1 - USAGE : domestique, industriel, embarqué et même réseaux

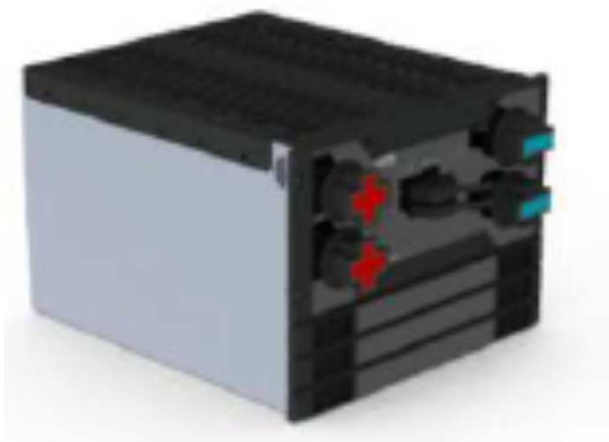
Capacité limitée, mais très répandue, en plein essor

Exemples :

Batterie Li.ion Titanate

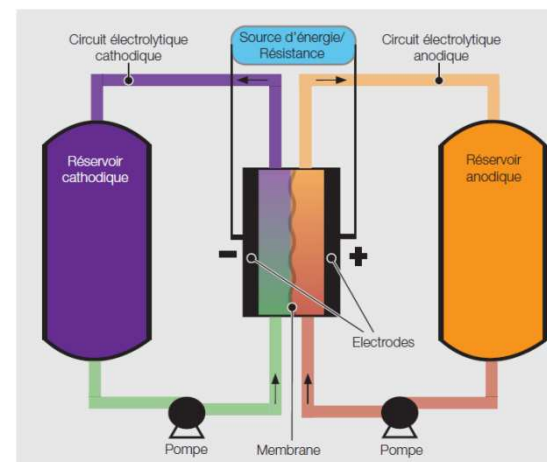
Marché prometteur et en expansion pour les applications domestique, industrielle et réseaux ainsi que pour la mobilité.

Rendement du système : **> 85 %**



Batterie redox à circulation d'électrolytes avec réduction oxydante simultanément sur l'anode et la cathode. Est déjà commercialisée mais fait l'objet de recherches. Probablement un marché de niche.

L'EPFL développe un modèle permettant la production d'hydrogène.





Stockage direct – stockage d'énergie par air comprimé

F2/D1 - USAGE : champ d'éoliennes, PV, réseaux, industrie

$\eta > 50\%$

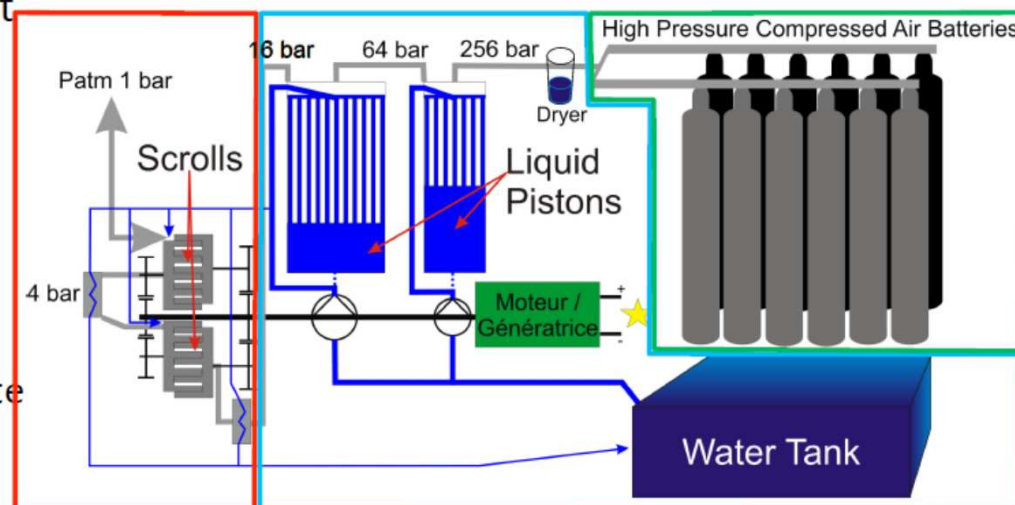
Capacité faible à moyenne, en cours de R+D. Durée entre 1h et 1 jour

Exemple : Projet HyPES de la société ENAIRYS dans le cadre de l'EPFL

Objectif : expérimenter 3 prototype de 25 kW puis développer un modèle de 250 kW

❑ Le système HyPES[®] (stockage d'énergie hydropneumatique) est constitué de 3 parties:

- ❑ Unité de pré-compression et post-détente scrolls
- ❑ Unité de compression / détente hydropneumatique
- ❑ Unité de stockage par batteries de bouteilles à haute pression





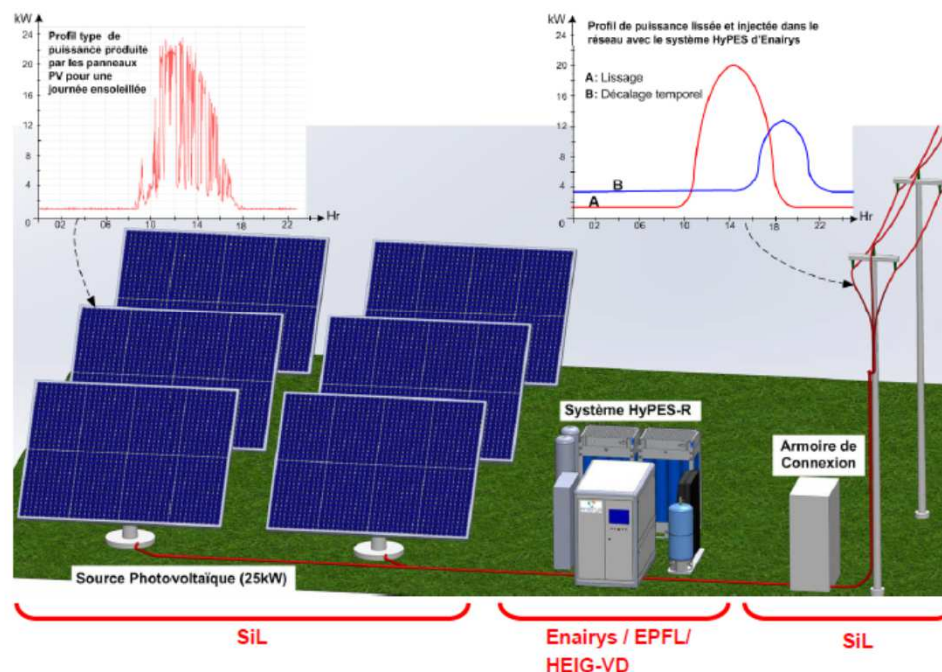
Stockage direct – stockage d'énergie par air comprimé

F2/D1 - USAGE : champ d'éoliennes, PV, réseaux, industrie

$\eta > 50\%$

Exemple : Projet HyPES de la société ENAIRYS dans le cadre de l'EPFL

Installation pilote à Lausanne



Lissage et décalage temporel de la production photovoltaïque



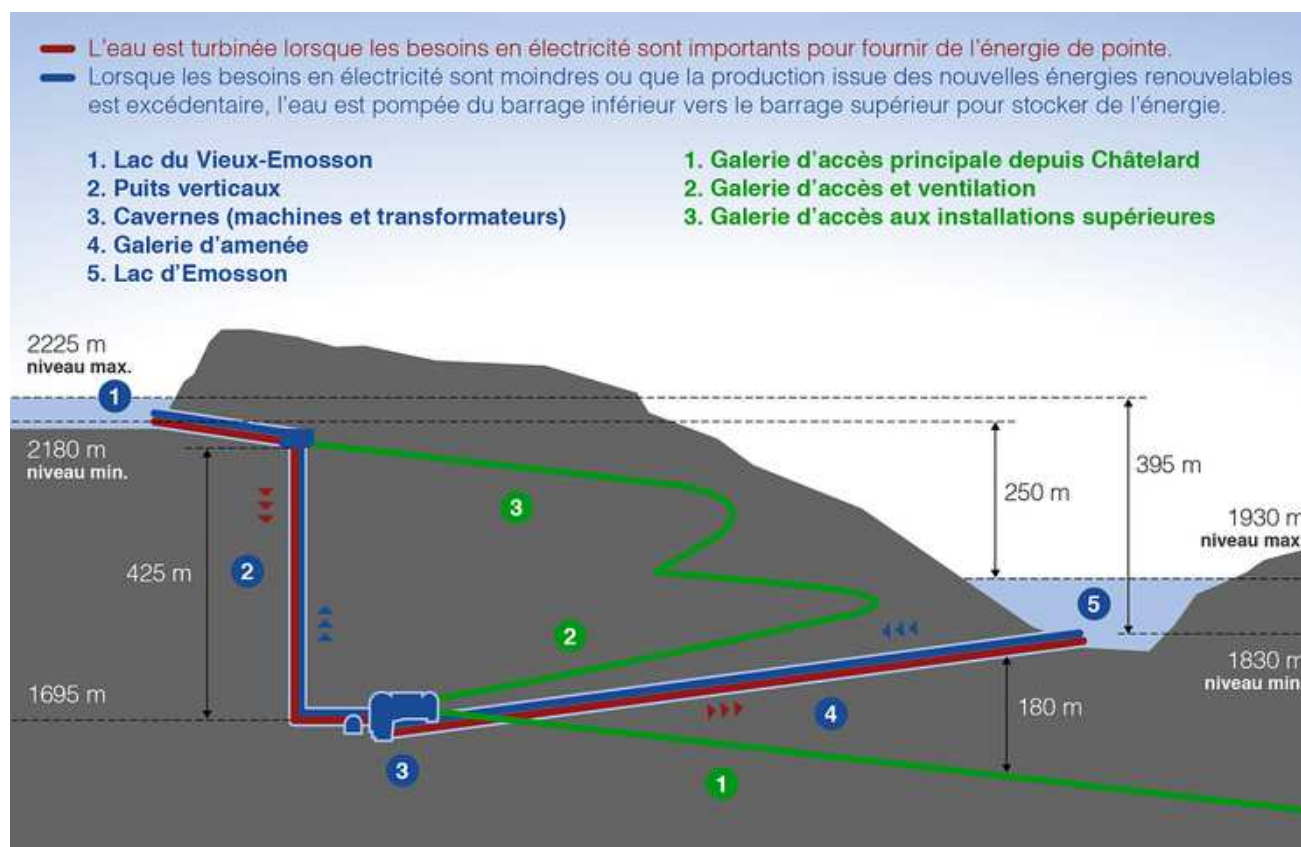
Stockage direct - hydraulique par pompage-turbinage

F2/D1-D2 - USAGE : réseaux électriques

$\eta > 80\%$

Grande capacité, utilisé principalement pour la puissance de réglage des réseaux THT.

Exemple ; Nant de Drance





Stockage direct – Power-to-Gas - fabrication de gaz synthétique à partir d'électricité renouvelable et distribution par réseau gaz

F2/D1-D2 - USAGE : production décentralisée d'électricité

Grande à moyenne capacité, utilisé pour des couplages chaleur-force ou des cycles combinés

Exemple : installation de Flenhagen (D)

Processus en 2 phases, respectivement tout d'abord production d'hydrogène par électrolyse puis transformation de l'hydrogène en CH₄ (gaz synthétique par combinaison avec CO₂).

Projet de Falkenhagen : seulement la phase 1 actuellement.





4.2. Projets et recherches



4.2.1. Projet de batteries de grande capacité

Projet réalisé par LECLANCHE à l'EPFL en partenariat avec la Romande Energie, l'EPFL et le canton de Vaud

- ❑ **Objectif** : tester à l'échelle industrielle le stockage d'énergie électrique solaire avec des batteries de grande capacité et de longue durée de vie.
- ❑ **Batteries** : Cellules de Li-ion Titanate (8'100 cellules de base), capacité de stockage : 500 kWh, nombre de cycles : 15'000. 1 onduleur unique de 720 kVA.
- ❑ **Dispositif** : utilisation de la production des champs PV de l'EPFL de 15'000 m², avec 1 container contenant toutes les installations pour le stockage et le déstockage de l'électricité. Branchement de l'installation sur le réseau MT alimentant l'EPFL. Puissance de réinjection : 2 MW.
- ❑ **Capacité de 500 kWh** : équivalent à la production de 2'500 m² de panneaux PV en 1 heure ou à la consommation d'une centaine de ménages toute une journée.
- ❑ **Mis en service** : octobre 2015.
- ❑ **Durée de l'expérimentation** : 13 mois



4.2.1. Projet de batteries de grande capacité

La cellule Leclanché Lithium-ion Titanate



Excellent rendement sur toute la plage d'utilisation



Durée de vie supérieur

15'000 cycles

Capacité de décharge à 100%

Haute sécurité d'utilisation

Faible coût de stockage par kWh

Courant de charge et de décharge élevé

Large plage de température



4.2.1. Projet de batteries de grande capacité

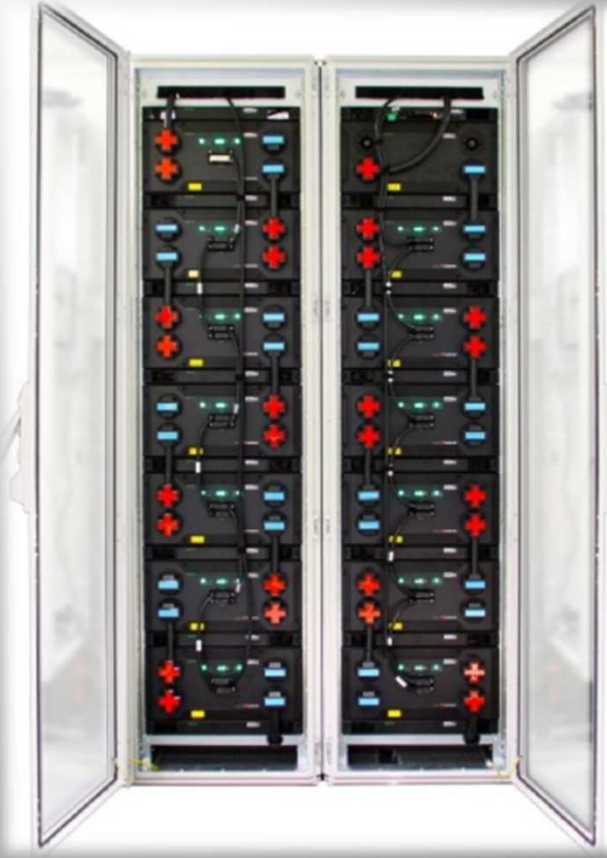
Les solutions de stockages industrielles Ti-Rack



Cellule Li-Ion Titanate Leclanché :	2.3 V – 30 Ah
Module 20S 3P :	46.6 V – 90 Ah = 4.2 kWh
String (Armoire de 15 module S) :	700 V – 90 Ah = 63 kWh
Container (9 armoires P)	9 x 63 kWh = 567 kWh



Module 20S 3P

Armoire type
15 modules: 700 V - 63 kWh
(titanate Leclanché)



4.2.1. Projet de batteries de grande capacité

Les containers – the MegaWatt class

567 kWh Container

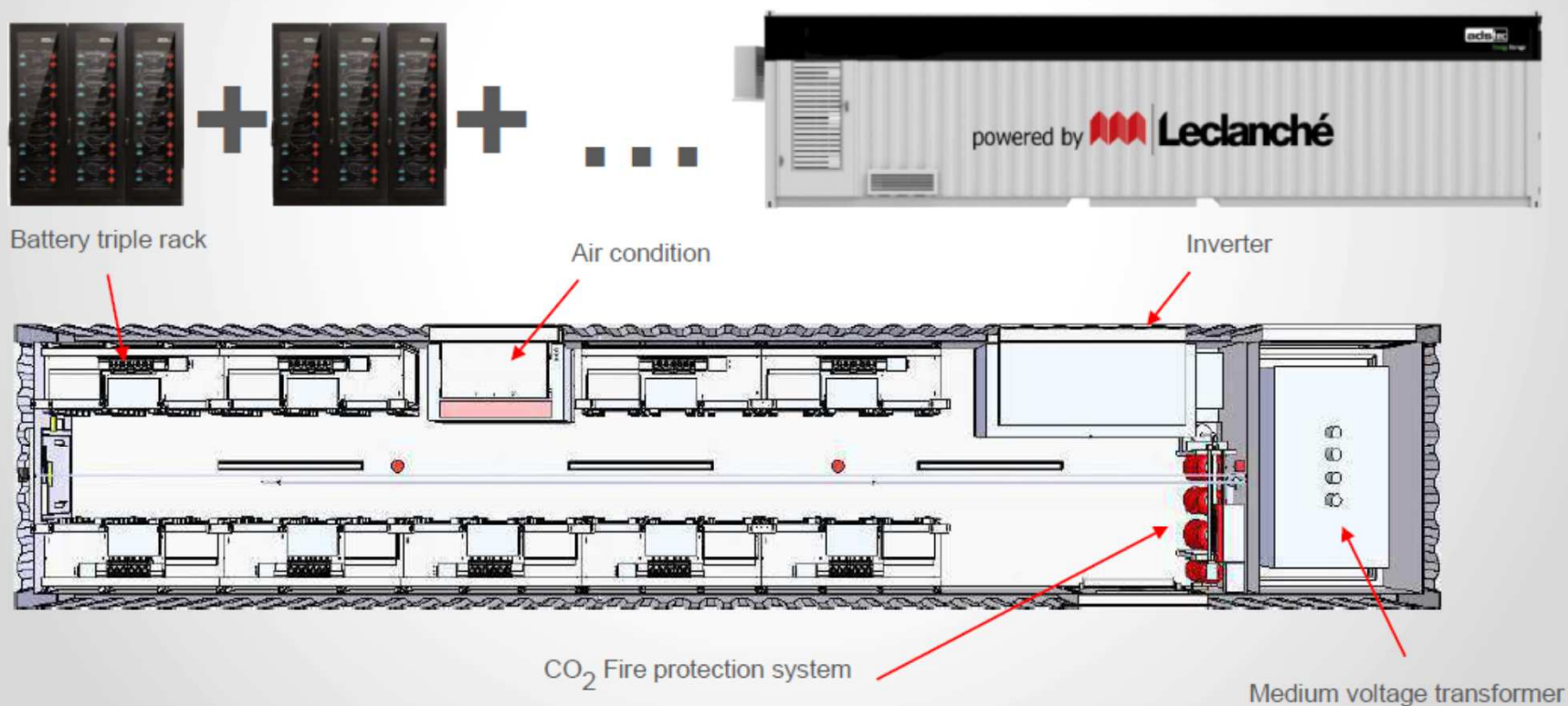
Energy Shifting

Peak Shaving



4.2.1. Projet de batteries de grande capacité

3. TiRack Industrial Storage: Bis zu 500kWh Speicherkapazität pro Container, beliebig erweiterbar



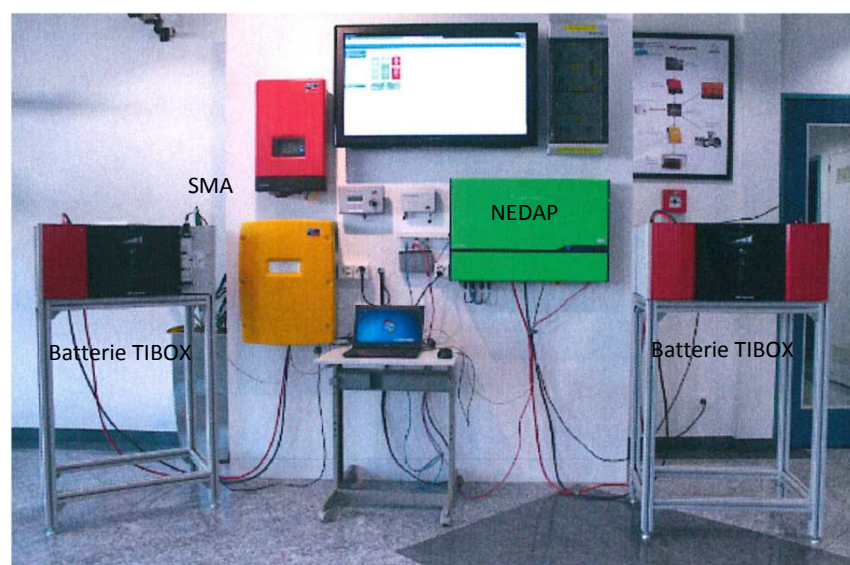
Bern 12.08.2014 - Speicherlösungen von Leclanché für die Energieversorgung von morgen - Andreas Niederholz – Confidential © Leclanché GmbH



4.2.2. Projet de stockage résidentiel d'électricité PV

Projet de stockage résidentiel d'énergie à Yverdon Collaboration entre le Service des Energies SEY et LECLANCHE

- ❑ **Objectif** : tester les nouvelles solutions pour optimiser l'autoconsommation
- ❑ **Projet** : utilisation de 2 systèmes séparés permettant de faire de l'autoconsommation à partir d'une installation PV constituée de 2 groupes de 5 panneaux PV d'une puissance totale de 2 x 1,6 kWp
- ❑ **Système 1 : SMA** avec 1 onduleur pour alimenter le réseau ou la batterie, 1 onduleur pour la gestion de la charge et décharge de la batterie et 1 batterie LECLANCHE TIBOX Li-ion Titanate 3,2 kW/3,2 kWh.
- ❑ **Système 2 : NEDAP** t avec une solution intégrant l'onduleur et le gestionnaire de batteries dans un seul boîtier.
- ❑ Installé à l'usine LECLANCHE à l'Avenue des Sports 42 à Yverdon-les-Bains, avec les systèmes de gestion et de stockage installés dans le hall d'entrée de l'usine (Show-Room). Les consommateurs sont simulés.





4.2.2. Projet de stockage résidentiel d'électricité PV

Projet de stockage résidentiel d'énergie à Yverdon

Premières observations sur une année de mesures

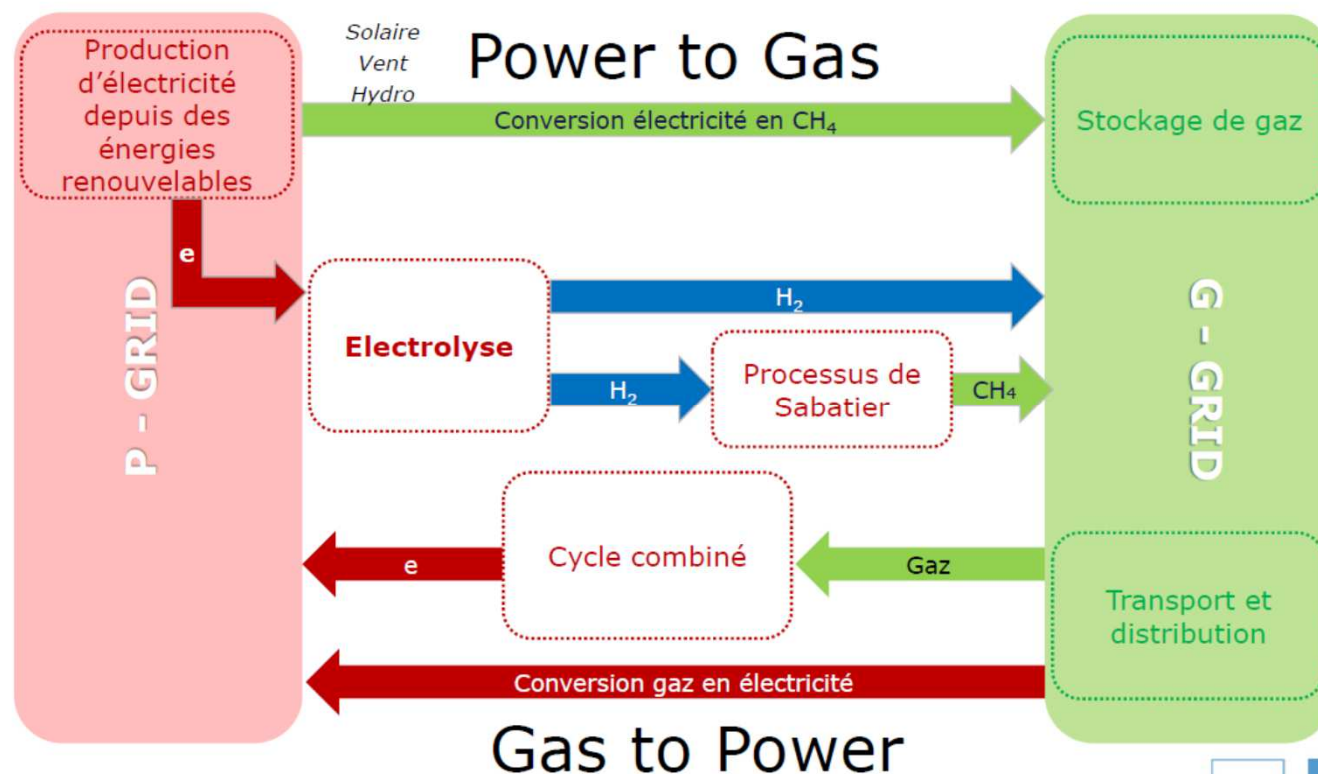
- ☐ **Le taux d'autoconsommation**, soit le rapport entre la consommation directe de courant PV et la production totale de courant PV oscille entre **38 à 44 %**
- ☐ **Le taux d'autosuffisance**, soit le rapport entre l'alimentation propre en courant PV (autoconsommée et réinjectée sur le réseau) et la consommation totale d'électricité oscille entre **50 et 55%**.



4.2.3. Projets Power-to-gas

Stockage d'énergie Power-to-Gas

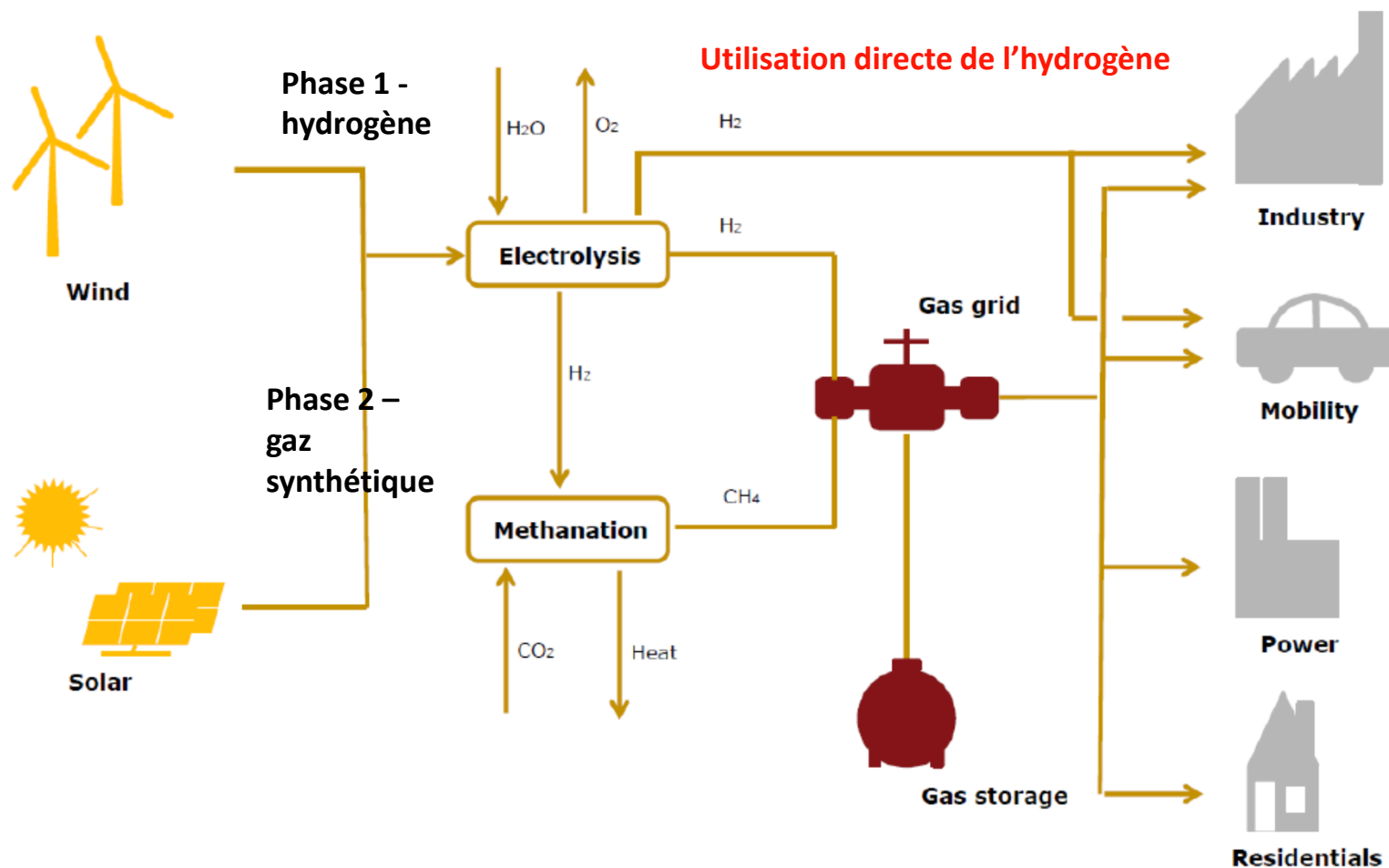
Concept Power-to-Gas





4.2.3. Projets Power-to-gas

Applications Power-to-Gas

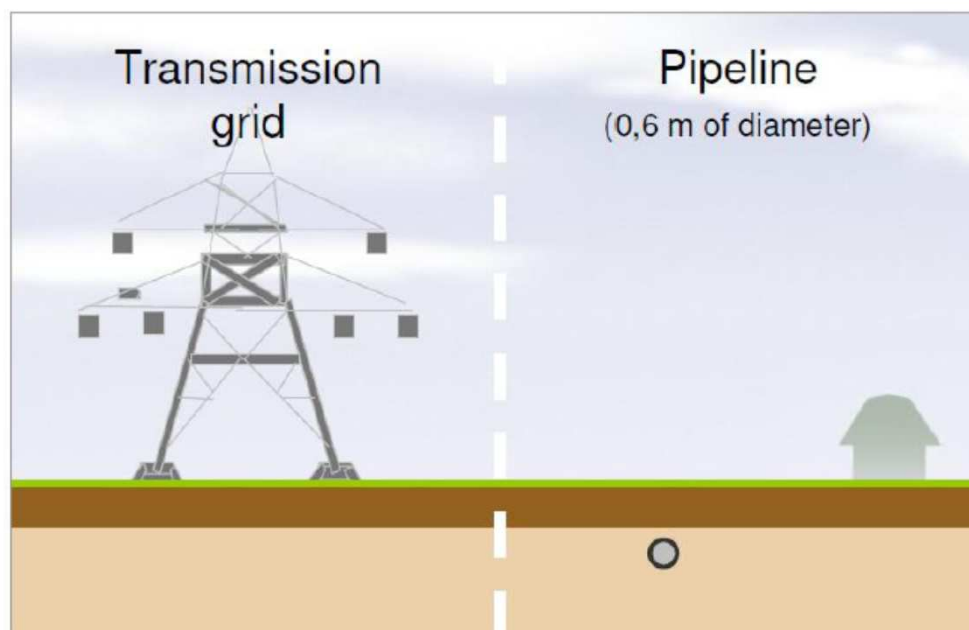




4.2.3. Projets Power-to-gas

Comparaison du transport électricité vs gaz

Comparaison de capacités de transport
1 GW (1000 MW) power vs. 3 GW gas





4.2.3. Projets Power-to-gas

Projet P2G de Falkenhagen (D)

Paramètres clés

- Puissance installée: 2 MWeI
- Production hydrogène: 360 m³/h
- Injection réseau haute pression (ONTRAS – VNG Gastransport)
- Début construction: 08/20/2012; Inauguration 08/28/2013
- Propriétaire/partenaire projet: **e-on** **SWISSGAS** **+G**



Objectifs

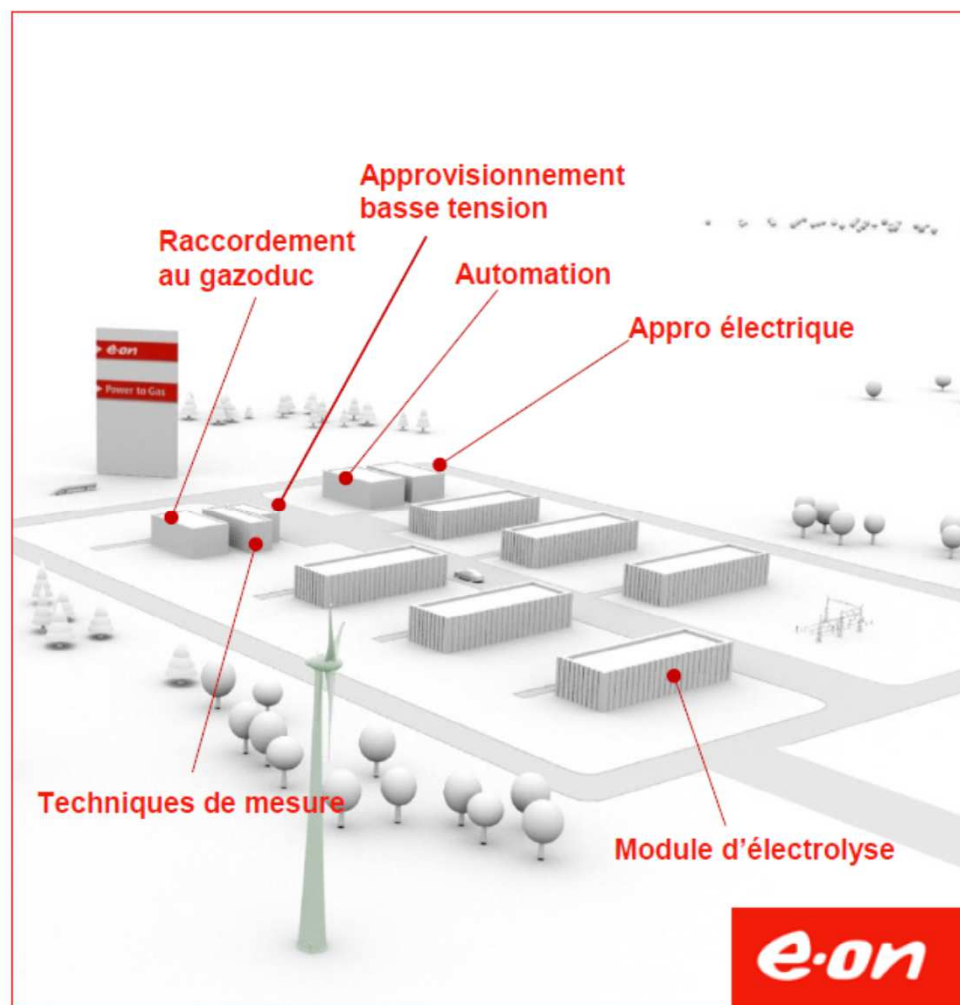
- Démonstration du processus
- Optimisation du concept opérationnel (fluctuation du vent vs demande de gaz)
- Utilisation du courant éolien pour la production de H₂
- Gagner de l'expérience au niveau technologique et économique





4.2.3. Projets Power-to-gas

Installation P2G de Falkenhagen (D)





4.2.3. Projets Power-to-gas

Une installation P2G en Suisse : Regio Energie Solothurn



Extrait exposé de M. B. Corminboeuf,
directeur GAZNAT au CEES 18.06.2015

SECURELEC_04.10.2017 PV,
autoconsommation et stockage



4.2.3. Projets Power-to-gas

Premières observations

- ☐ La technique du Power-to-Gas (P2G) permet de stocker l'électricité à grande échelle
- ☐ Les applications de l'utilisation du gaz synthétique CH₄ sont nombreuses
- ☐ Au stade actuel, les projets à l'échelle industrielle se concentrent sur la première phase du processus P2G à savoir l'électrolyse de l'eau avec du courant renouvelable pour produire de l'hydrogène, en raison du coût élevé du gaz synthétique, pas encore commercialisable (environ 6 x plus cher que le gaz naturel).
- ☐ Les installations de grande taille comme Falkenhagen (360 m³/h H₂) permettent d'acquérir des bonnes connaissances sur l'électrolyse de grande taille et d'améliorer le rapport coût/efficacité du processus.
- ☐ En Suisse, il y a de l'intérêt pour des projets pilotes, voir Soleure, mais il faudra encore attendre bien quelques années avant de voir des projets industriels avec la production de gaz synthétique.



4.2.4. R+D acide formique

Stockage sous forme acide formique**Stockage H₂ en acide formique (HCOOH) - particularités**

homogeneous catalytic system

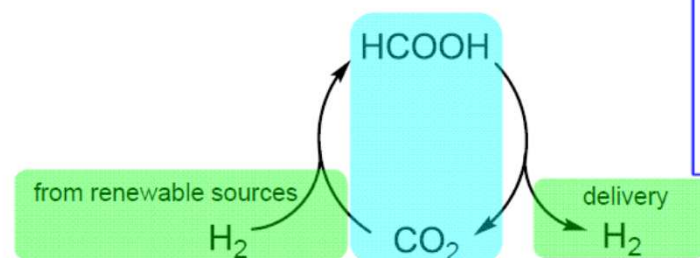
- ✓ efficient, simple
- ✓ generate very pure H₂ (and CO₂)
- ✓ at any wanted pressure up to 110 MPa
- ✓ constant high pressure H₂ delivery
- ✓ in water

C. Fellay, P. J. Dyson, G. Laurency, *International Patent*, **2006**.
C. Fellay, P. J. Dyson, G. Laurency, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2008**, 47, 3966.



Advantages of HCOOH:

- ▶▶ it has a flash point – ignition temperature of + 69 °C
- ▶▶ the 85 % formic acid is not inflammable
- ▶▶ the diluted formic acid is a food additive (US Food and Drug Administration)
- ▶▶ only gaseous products

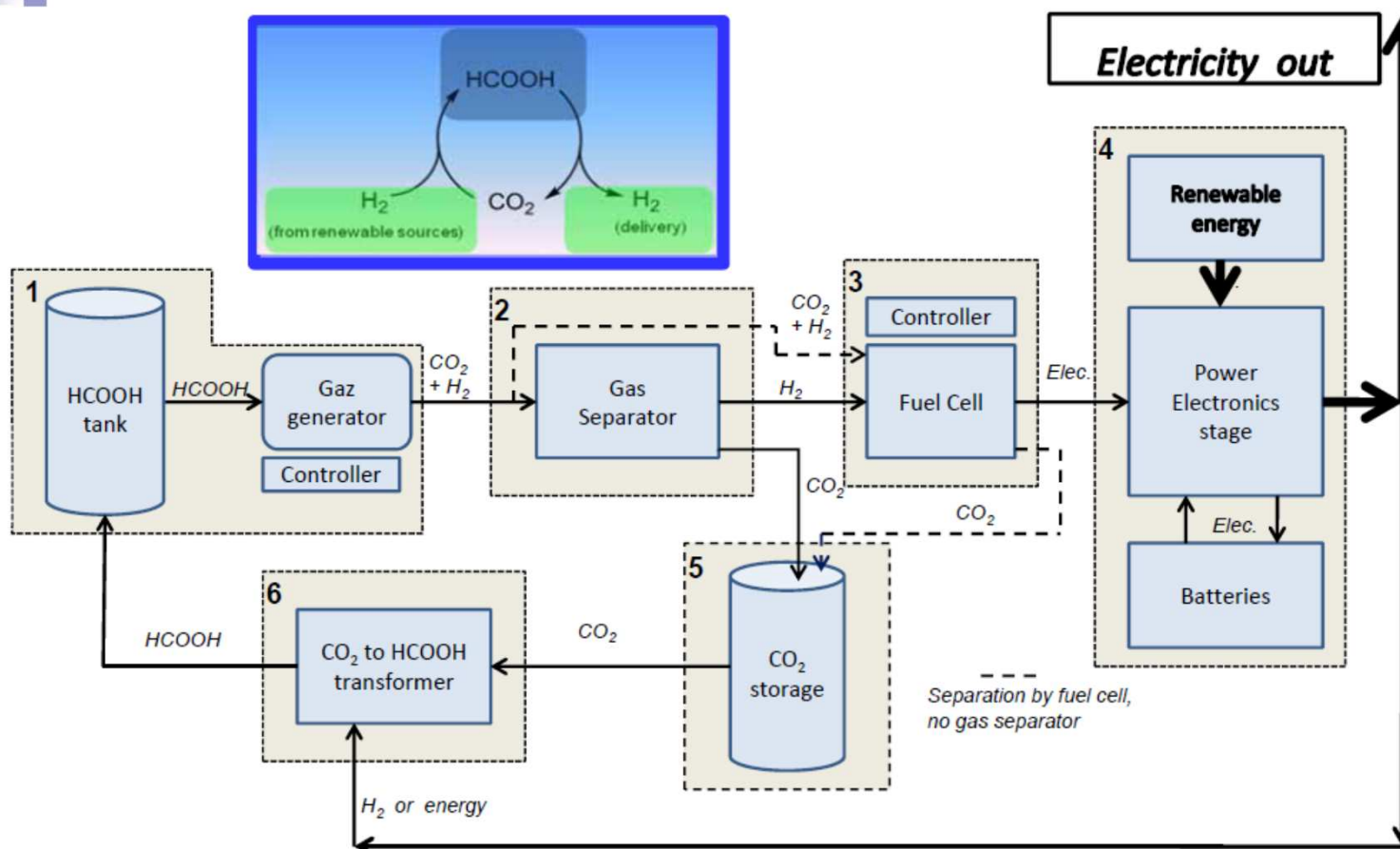


Stand – alone unit for energy storage, no need: electricity/gas/oil network



4.2.4. R+D acide formique

Processus

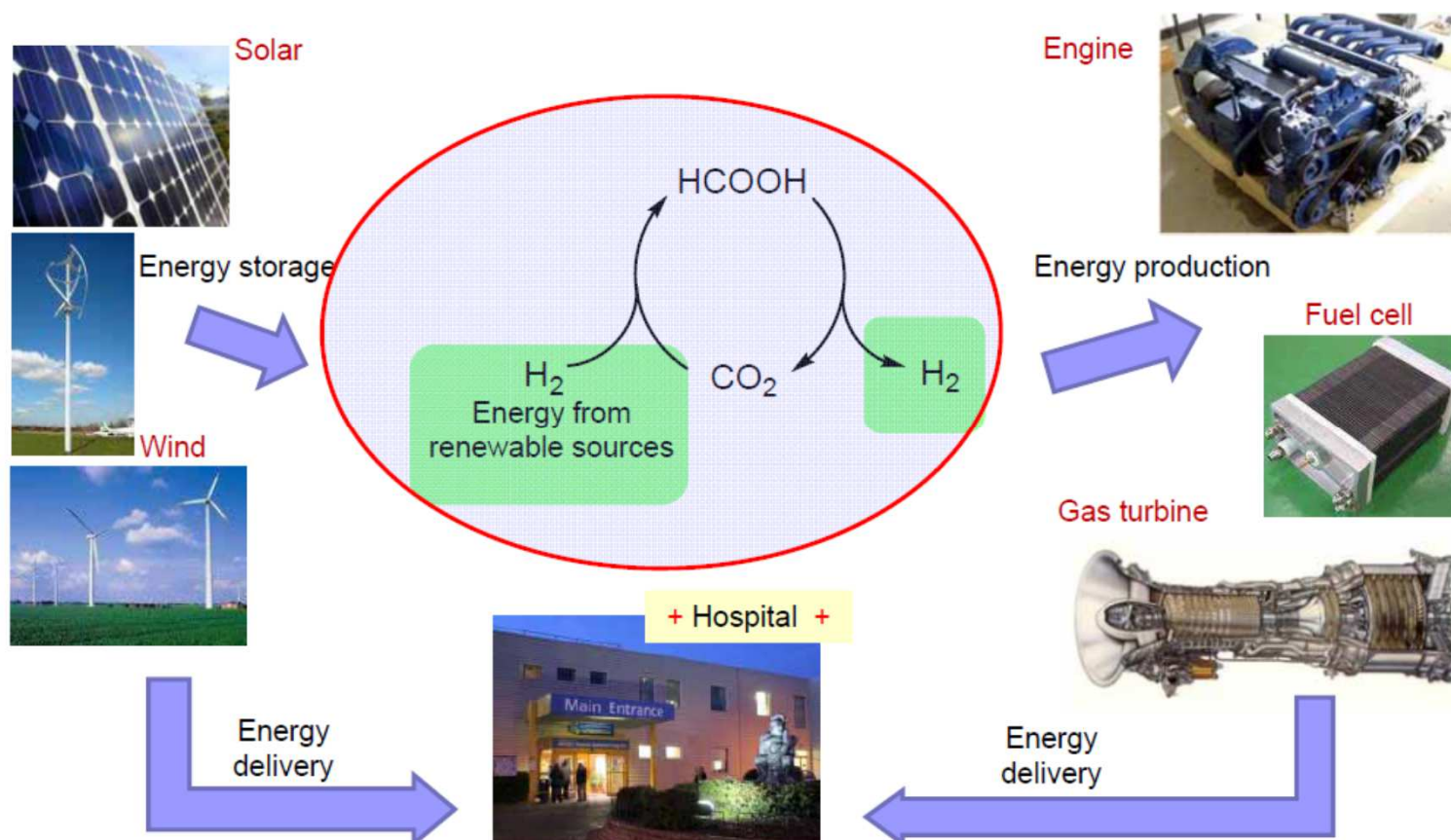


Summary: *Formic acid as hydrogen source – recent developments and future trends*
 Martin Grasmann, Gábor Laurenczy, **Energy & Environmental Science*, 2012, 5, 8171.



4.2.4. R+D acide formique

Energie renouvelable/hydrogène – utilisation et stockage

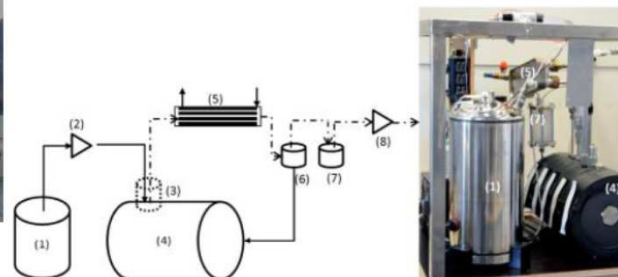




4.2.4. R+D acide formique

Projet de démonstration : bateau avec pile à combustible alimenté en hydrogène à partir d'un stock d'acide formique

Demonstration: Formic acid (H_2) fuelled boat



A hydrogen generator designed and built in for a power output of **2 kW** (60 L/min of H_2/CO_2)

(1) Formic acid tank - (2) Pump - (3) Tube in tube heat exchanger - (4) Reactor - (5) Heat exchanger - (6,7) Condensate separators - (8) Mass flow controller.

March 2013, Yverdon, Switzerland

Summary: *Formic acid as hydrogen source – recent developments and future trends*

Martin Grasemann, Gábor Laurenczy*

Energy & Environmental Science, 2012, 5, 8171.



4.2.4. R+D acide formique

Concept de stockage annuel pour une villa

Installation PV projetée (prix 2014) :

40 panneaux BenQ	265 W
Surface PV	64 m ²
Orientation :	plein sud
Puissance :	10,6 kW
Coût net après déductions	20'406.--

Bilans annuels :

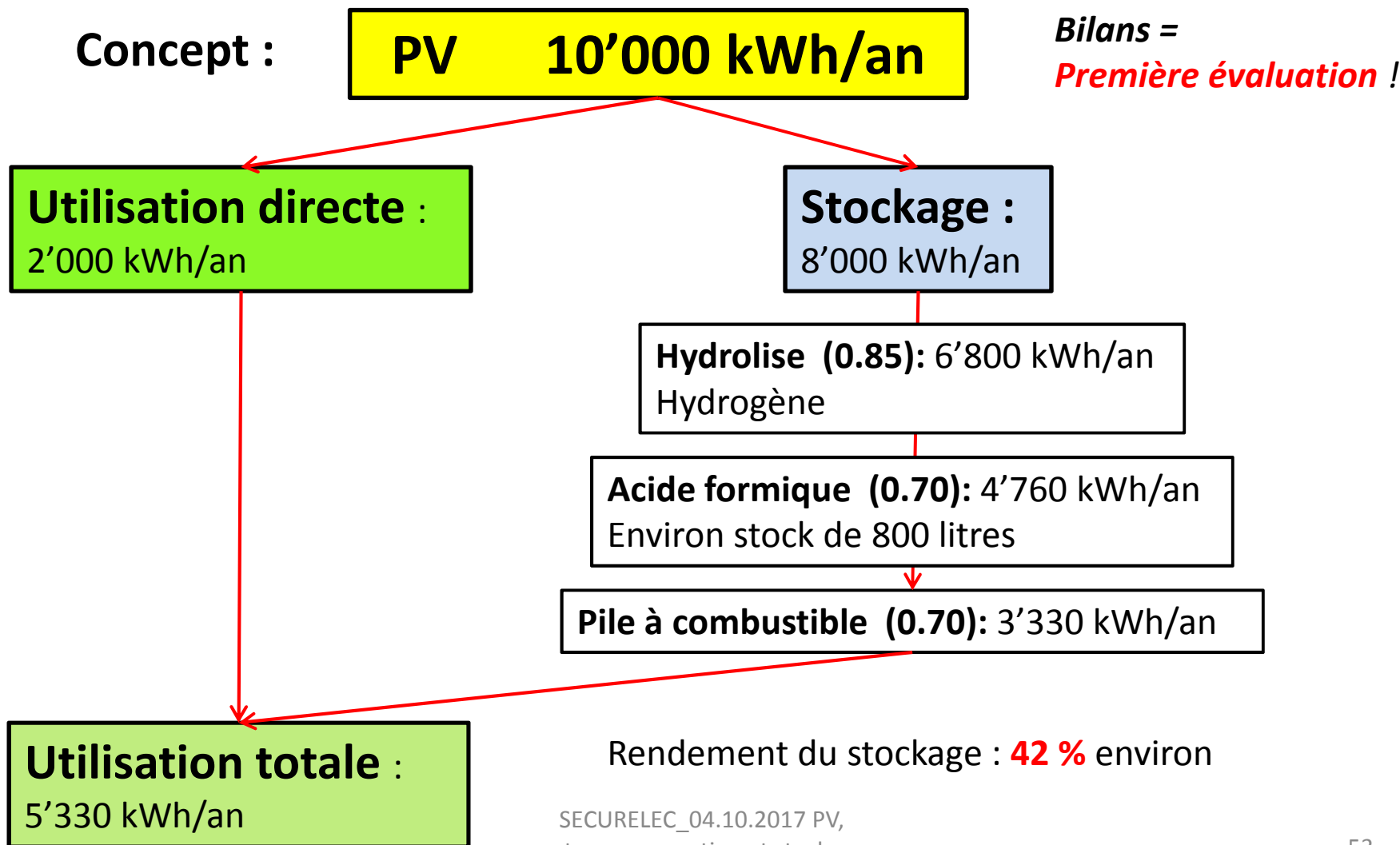
Consommation totale électricité :	10'600 kWh
Dont : PAC	5'600 kWh
Autres usages :	5'000 kWh
Production PV évaluée à	10'000 kWh
Consommation directe :	2'000 kWh
Electricité refoulée :	8'000 kWh
Taux d'autoconsommation :	20 %





4.2.4. R+D acide formique

Villa : PV + stockage acide formique + pile à combustible





4.2.4. R+D acide formique

Villa : PV + stockage acide formique + pile à combustible

Premières observations

- ☐ Le rendement de stockage est relativement bas. L'objectif des recherches est de dépasser 60 %
- ☐ Les recherches actuelles semblent s'orienter sur la voie CO₂, bien meilleur marché, mais avec un rendement plus faible. C'est le choix moderne entre le rendement max et le coût min.
- ☐ La présence d'une PAC avec consommation concentrée en hiver influence clairement le taux d'autoconsommation
- ☐ Il est difficile d'accroître la surface de captage PV plein Sud. Par contre, on peut choisir des cellules PV avec des rendements supérieurs.
- ☐ Un grand potentiel existe certainement dans une meilleure gestion des installations internes et appareils électriques.
- ☐ Un intérêt certain est celui de la sécurité d'approvisionnement en cas de rupture de fourniture par exemple en cas de blackout ou de pénurie d'électricité.



5. Perspectives et idées



Stockages de grande capacité

- ❑ Le stockage de grande capacité par pompage –turbinage est momentanément menacé en raison de son manque de rentabilité (7 -8 cts/kWhe contre 2-4 cts/kWhe marché spot). Mais compte tenu de l'essor considérable des énergies renouvelables intermittentes, son rôle pourrait bien être revalorisé à moyen terme (10 ou 15 ans) pour le réglage des grands réseaux, avec un bémol: sans accord sur l'électricité Suisse-UE, ce rôle pourrait être singulièrement réduit.
- ❑ Le développement réjouissant des batteries de grande capacité (plusieurs MWh) et de grande durée de vie (15'000 cycles) permet d'envisager que cette technologie prennent une part de plus en plus prépondérante dans le réglage et la stabilisation des réseaux. Ce développement doit nécessairement être accompagné d'une gestion intelligente non seulement des réseaux mais des utilisations des appareils et processus au niveau industriel mais aussi domestique.
- ❑ Le développement des "smart" est en route, mais aux dire des spécialistes, il faudra encore de nombreuses années pour qu'il se généralise.
- ❑ La solution technique du P2G est prometteuse et complémentaire avec les autres techniques de stockage à grande échelle. Les conditions actuelles de rentabilité ne favorisent malheureusement pas un développement aussi rapide qu'espéré. Il faudra là aussi de nombreuses années avant de pouvoir disposer d'installations de taille industrielle économiquement viables.



Applications pour le niveau domestique

1. Les batteries, une solution pragmatique pour l'augmentation de l'autoproduction

- ☐ De nouvelles générations de batteries arrivent sur le marché, avec des capacités de stockage et une durée de vie accrue pour des prix inférieurs.
- ☐ L'évolution de la RPC rend les grandes installations PV nettement moins attractive. La tendance du marché est actuellement aux petites installations avec stockage par batteries comme évoqué ci-avant.
- ☐ L'évolution en parallèle des systèmes d'onduleurs et de gestion de la charge et décharge rend encore plus efficace la mise en œuvre de systèmes de stockage associés à une production photovoltaïque.



Perspectives pour le niveau domestique

2. Performances attendues des nouveaux système

- ❑ Selon M. Stéphan Kolly, project Manager chez LECLANCHE et responsable du projet à l'EPFL et à Yverdon, avec les nouvelles technologies ,et en gérant correctement ses consommations internes, on peut admettre :

Taux d'autoproduction, sans stockage ; en moyenne 30 %

Taux d'autoproduction avec stockage : en moyenne 60 %

- ❑ Le prix des nouvelles batteries Li-ion Titanate de 6,3 kWh est descendu à moins de 4'000.—
- ❑ Exemple d'un système de stockage performant existant sur le marché :

Batterie LECLANCHE Apollion Cube
Lithium-ion/6,3 kWh/6,5 kW



Onduleur marque IMEON (FR) intégrant la gestion de la batterie et toute la gestion PV/batterie/ilotage/ Télégestion.



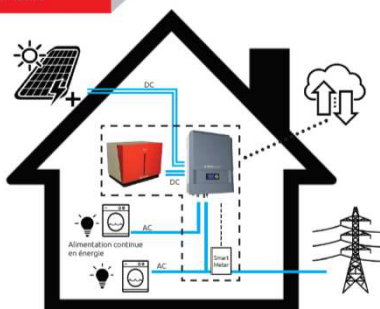
Systèmes de stockage d'énergie ALL-IN-ONE



SYSTÈME DE STOCKAGE D'ÉNERGIE ALL-IN-ONE
Le premier pas vers l'autonomie énergétique pour une expérience plug & play

SOLUTIONS DE STOCKAGE D'ÉNERGIE

INTÉGRÉES



SPECIFICATIONS TECHNIQUES

Version Powerpack	101	102	103	301	302	303
Type d'onduleur	Monophasé (50 Hz, 60 Hz), 230 Vac			triphasé (50 Hz, 60 Hz), 230/400 Vac		
Puissance de sortie AC	3 kW nominal, 6 kW pointe			9 kW nominal, 12 kW pointe		
Courant de secours	13 A nominal			13 A nominal par phase		
Contenu énergétique	6.7 kWh	13.4 kWh	20.1 kWh	6.7 kWh	13.4 kWh	20.1 kWh
Technologie de cellules	G-NMC			G-NMC		
Nombre de cycles complets	5'000			5'000		
Temps de charge minimal	1h35	3h10	4h45	1h30	3h	4h30
Puissance PV installée	1,5 à 4 kWc, 1 MPPT			4 à 12 kWc, 2 MPPT		
Tension de démarrage PV	150 V			350 V		
Plage MPPT	120-480 V			380-750V		
Courant d'entrée maximal	18 A			2*18 A		
Tension d'entrée maximale	560 V			850 V		
Rendements	Batterie couplée en DC pour un plus grand rendement DC vers AC : > 95 % PV -> Batterie : > 94 %					
Conditions d'utilisation	Humidité: 5-90 % sans condensation; Température: 0-45 °C					
Numéro d'article	W001101	W001102	W001103	W001301	W001302	W001303

Les tendances pour les nouvelles batteries

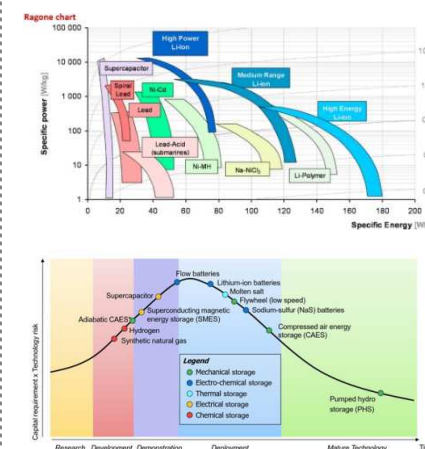
		Lithium Titanate Oxide (LTO)	Lithium Graphite/NMC (G-NMC)
Cycle life		15,000 @ 100% DoD >20,000 @ 80% DoD	4,500 @ 100% DoD 8,000 @ 80% DoD
Lifetime & warranty		Up to 20 years	Up to 10 years
Charge time to 90% SoC		Less than 15 minutes (4C)	1 hour (1C)
Charge acceptance		Symmetrical to discharge (max. c-rate 5 to 20)	Asymmetrical to discharge (max. c-rate 1)
Energy density		70 Wh / kg	160 Wh / kg
Temperature range		-20°C to +55°C	0°C to +45°C
Safety		Superior ceramic cell technology	Superior ceramic cell technology
Ideal use cases		Power intensive, long lasting, rapid response	Energy intensive, low- or micro- cycle, bulk storage
Example applications		- Electric buses, e.g. Brugge - Electric ferries - Hybrid solutions for grid	- Behind-the-meter stationary - Grid stability, e.g. IESO Ontario

The vast majority of applications use our technology...

Integrated 3rd Party Technologies

Examples could include:

- Other battery chemistries (Ni-MH, Ni-Cd, PbA, Li-ion)
- Hydrogen fuel cells
- Vanadium redox / redox flow batteries
- Ultracapacitors



...but we remain flexible to integrate

SECURELEC_04.10.2017 PV,
autoconsommation et stockage



Ce qui est à venir

- ☐ Développement de l'intelligence et de la capacité de dialogue des onduleurs avec les consommateurs internes et les fournisseurs externes ouvre la voie à l'interaction entre smartgrid et smarthome.
- ☐ L'ensemble PV + batteries est promis à un bel avenir, même si on peut obtenir déjà de bons résultats avec une gestion intelligente, sans stock, des équipements de la maison, en particulier la production d'ECS et le chauffage par pompe à chaleur.
- ☐ L'essor de la voiture électrique va renforcer l'intérêt du PV et va améliorer le taux d'autoconsommation. En 2018, Nissan mettra sur le marché la Nissan Leaf équipé d'un système intelligent permettant à sa batterie de dialoguer avec l'onduleur de la maison. Il sera alors possible d'injecter ou de reprendre du courant entre la maison et la voiture.
- ☐ La possibilité qu'offre le développement de la filière de l'acide formique permet d'envisager à moyen terme la possibilité de constituer des stockages annuels.



Un conseil, pour finir :

Face au risque reconnu dans ces 10 prochaines années, d'une rupture d'approvisionnement électrique, sous forme par exemple d'un blackout électrique de plusieurs jours, il serait temps de songer à exécuter des installations PV équipées de batteries et en mesure de fonctionner en l'absence du réseau public.



Merci pour votre attention !