



POWIDIAN

POWER IN ALL MERIDIANS



facebook.com



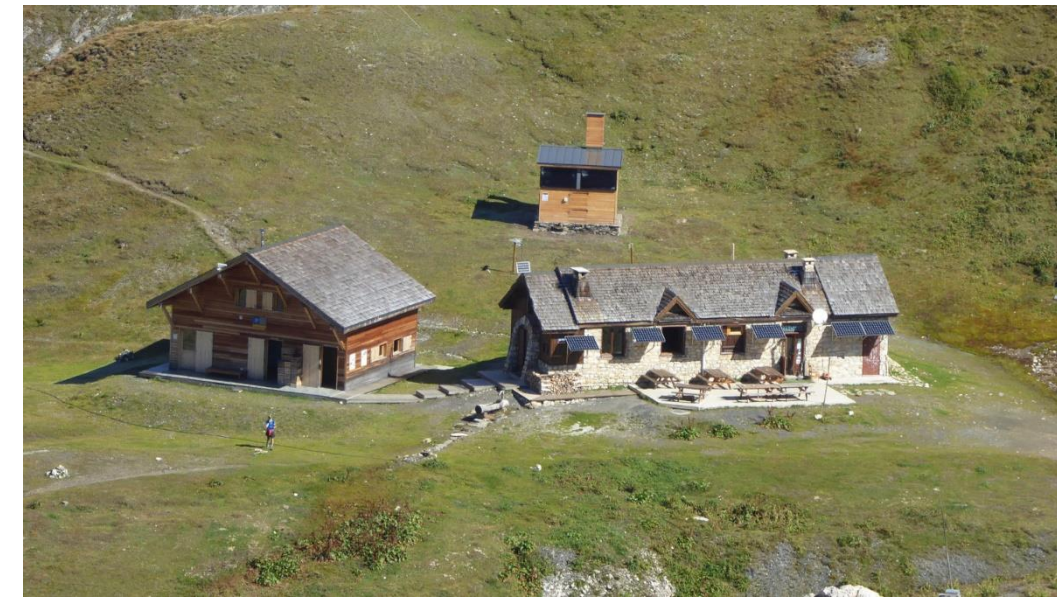
<https://twitter.com/PowiDian>



fabien.claudon@powidian.com



+33 (0)6 87 66 46 01



PowiDian est depuis son essaimage du groupe Airbus, un acteur reconnu du stockage de l'énergie électrique produite à partir d'énergie renouvelable.

Réalise et installe des stations d'énergie en sites isolés ou industriel, utilisant des Piles à Combustible, et est aussi intégrateur de Piles à combustible jusqu'à 100kW!

 Facebook
[facebook.com](https://www.facebook.com/powidian)

 Twitter
<https://twitter.com/PowiDian>

 E-mail
admin@powidian.com

Les applications - La mobilité



Déjà 100 taxis Toyota Mirai à Hydrogène à Paris



Navettes et paquebots à PAC H2



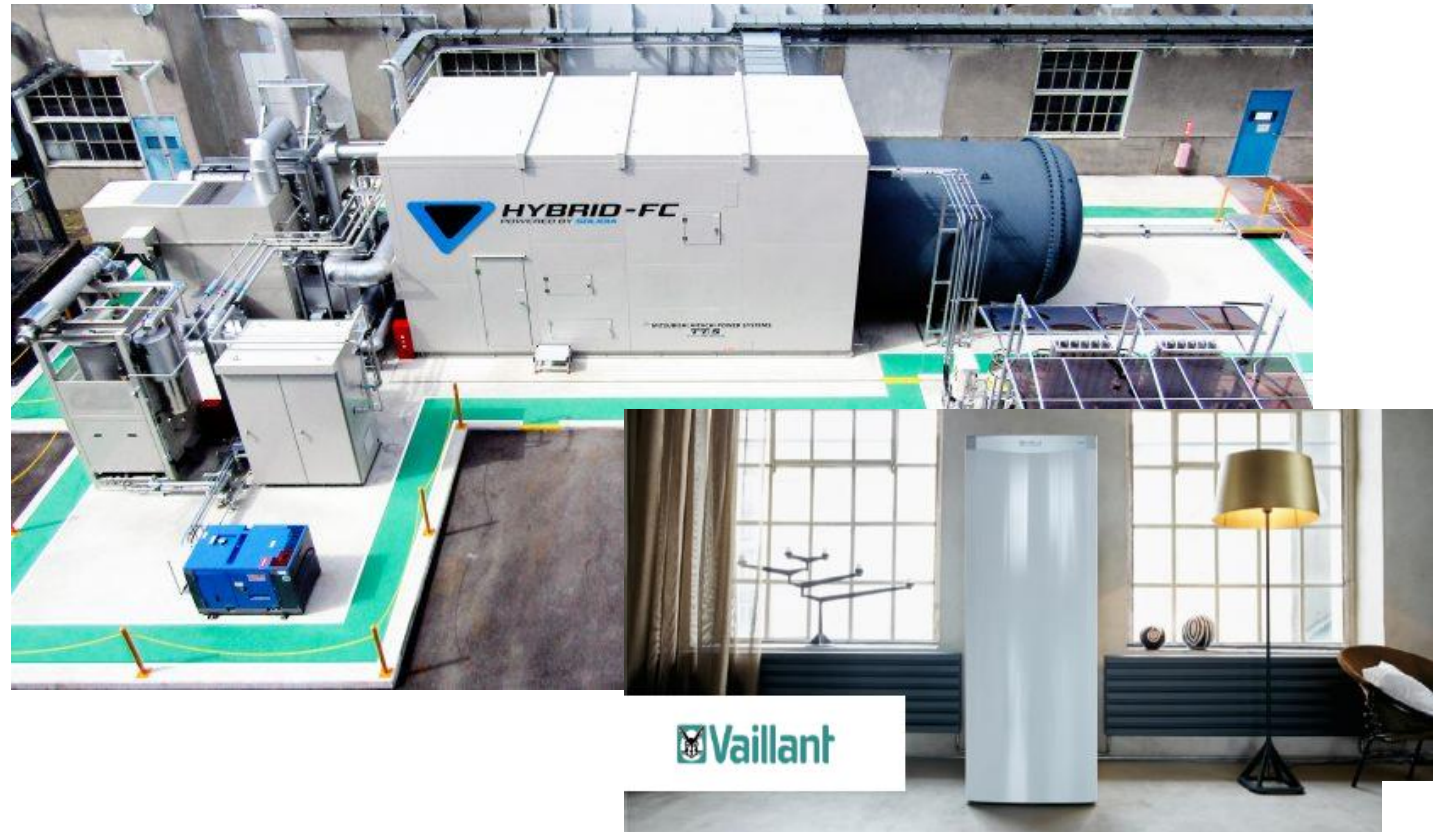
64 trains en Allemagne en 2021.
1^{er} essais en France en 2020.
2035: fin du ferroviaire diesel en France (20% du parc, 3500 machines),

Hydrogen Council



Bus à H2 en Chine depuis 16 ans
Plus de 140 bus à H2 en Europe
6 bus circuleront à Pau en 2019

Les applications - Les installations fixes



Pile à combustible à méthane: générateur électrique + chaleur



Alimentation des sites isolés, ou difficilement accessibles (POWIDIAN – Ile de Froan - Norvège)



Plus de 10'000 chariots à Hydrogène en fonctionnement (Amazon, Carrefour,..)



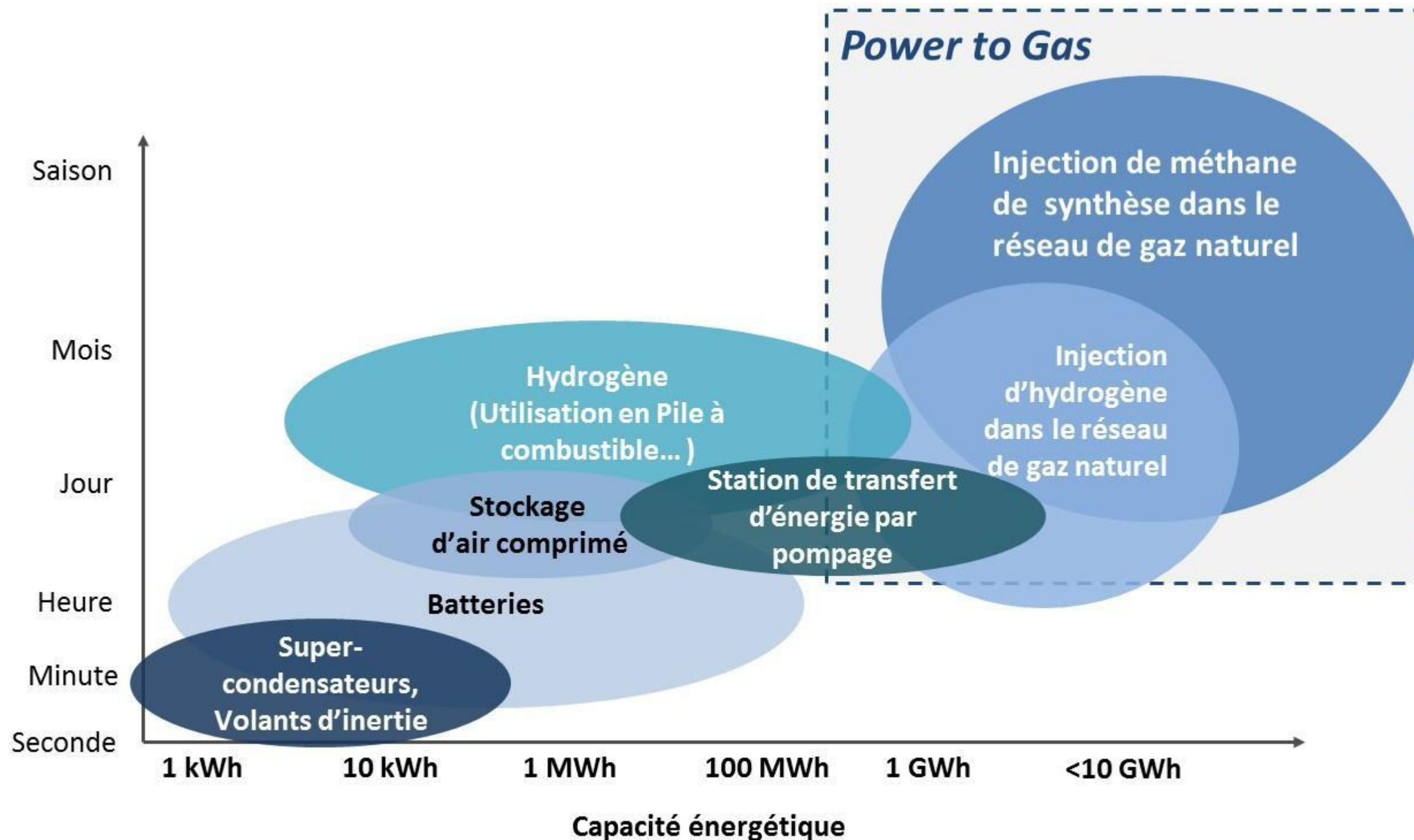
Groupe Électrogène à hydrogène 30kW POWIDIAN




Hydrogène industriel 'vert' (Danemark)

Les solutions de stockage d'énergie

Il existe 5 grandes formes de stockage d'énergie (combustible, électrochimique, calories, mécanique, pesanteur), avec une multitude de solutions, correspond chacune à des applications préférentielles:



 Le stockage sous formes de batteries: pour le court-terme à moyen-terme. Une solution éprouvée et reconnue pour le stockage du type "journalier".

H2 Le stockage sous forme d'hydrogène: pour le moyen-terme à long-terme. Une solution novatrice et pleine d'avenir pour le stockage du type "saisonnier".

Les types de piles à combustible

Il existe 3 types de piles à combustible, basées sur plusieurs technologies:

PAC au Méthanol (alcool de bois ou de synthèse; CH₃OH)



PAC alimentée en Méthane (hydrocarbure; CH₄)

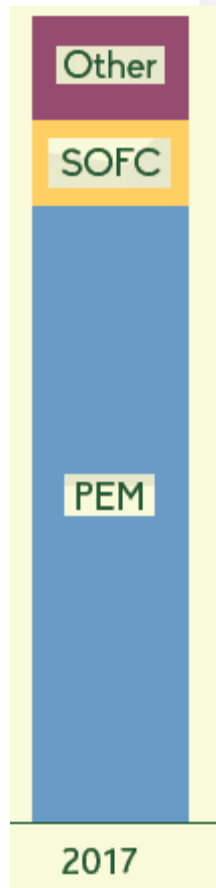


PAC au DiHydrogène (créé; H₂)



Le H₂ est créé:

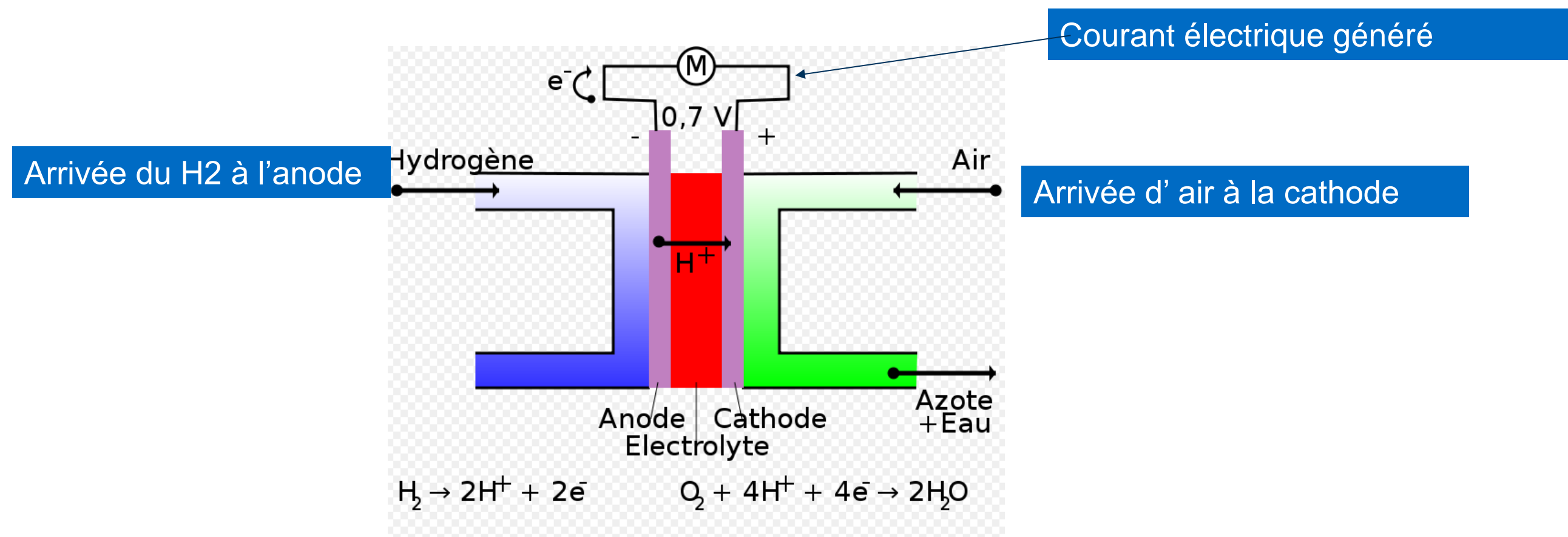
- soit par vaporeformage de Méthane
- soit par électrolyse de l'eau



Type	Electrolyte	Anode	Cathode	Température de fonctionnement
PEM: Proton Exchange Membrane Fuel Cell	Polymère (solide)	Pt (Platine)	Pt (Platine)	25-90°C
DMFC: Direct Methanol Fuel Cell				
SOFC: Solid Oxide Fuel Cell	Céramique (solide)	Ni-YSZ	La _x Sr _{1-x} MnO ₃	600-1000°C

De la chaleur est créée, le rendement 'brut' est donc moyen (40-50%), mais on peut récupérer la chaleur (cogénération). Et surtout on récupère l'énergie 'fatale' d'origine photovoltaïque !

Fonctionnement d'une pile à combustible



Entrée: H2 basse pression
Air ambiant



Sortie:
130VDC (30kW) à 500VDC (100kW)

Rejette uniquement de la vapeur d'eau

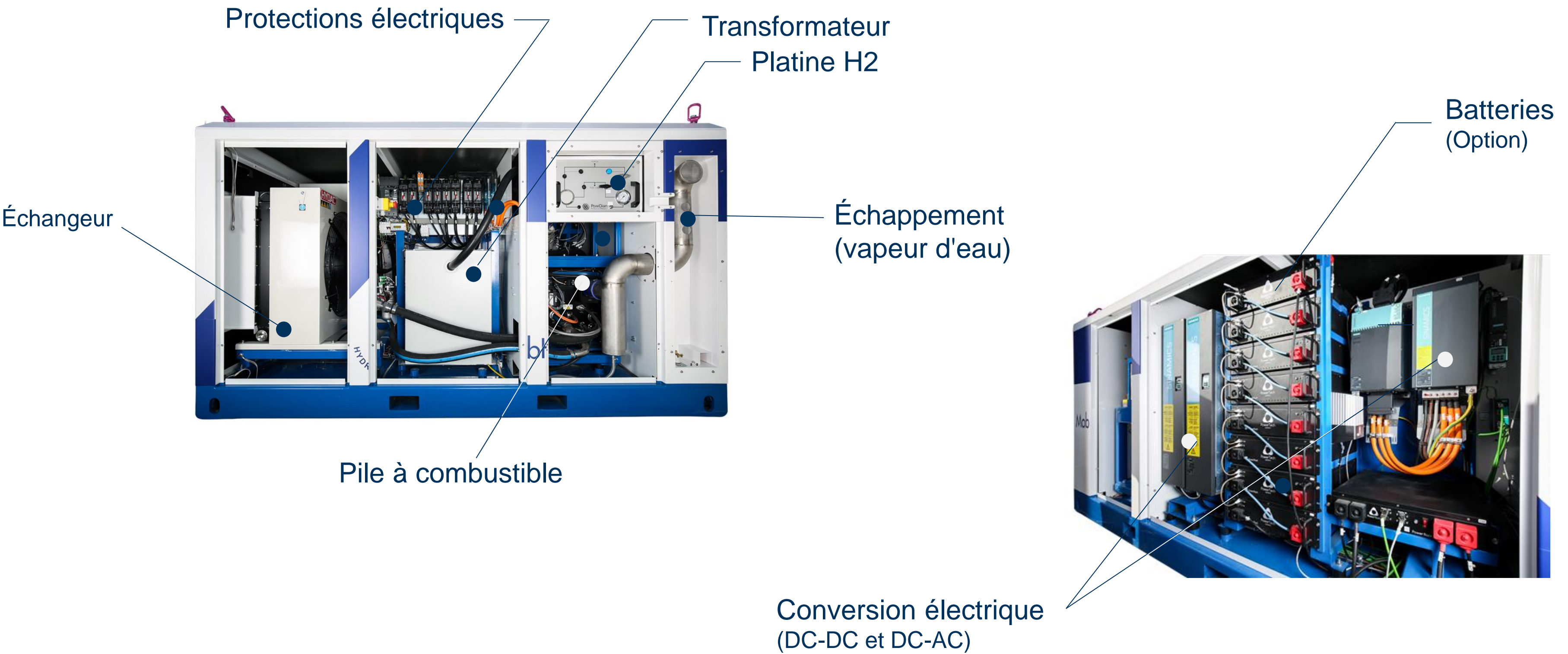
La pile à hydrogène est une pile à combustible utilisant le dihydrogène (H₂) et le dioxygène (O₂). Il s'agit d'une combustion électrochimique (=transfert d'électrons) et contrôlée de dihydrogène et de dioxygène, avec production simultanée d'électricité, d'eau et de chaleur, selon la réaction chimique de fonctionnement de la pile :



Arrivé à l'anode, le dihydrogène (H₂) se dissocie (oxydation) en protons et en électrons selon : $\text{H}_2 = 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$. Les protons traversent alors la membrane, mais les électrons, bloqués, sont contraints d'emprunter un circuit extérieur, ce qui va générer un courant électrique. → Ce courant électrique est disponible sur le bus DC de sortie.

À la cathode, les protons, les électrons, et du dioxygène (provenant de l'air) se rencontrent pour former de l'eau selon : $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$. En rejet on retrouve l'azote (provenant de l'air, et non utilisé), et l'eau formée.

Intégration d'une PAC (vue interne de l'ensemble)



Intégration d'un ensemble PAC dans son environnement

Local électrique:
-Protections elec.,
-Conversion elec.,
-Coffrets de purification d'eau
-Contrôleur

Ensemble
Pile à combustible

Platine H2

Électrolyseurs

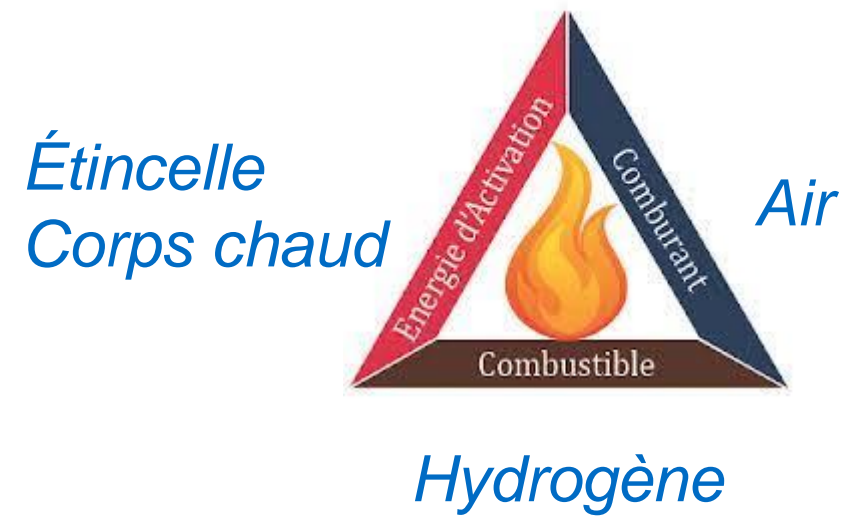


Cuve H2

LA PRÉVENTION DES RISQUES

La prévention des risques liés à la mise en œuvre et
l'utilisation d'une pile à combustible

L'hydrogène – Gestion du triangle du feu



Propriétés	(H2) Dihydrogène	Méthane	Essence (SP95)	Gasoil (GNR)	Acétylène
PCI, pouvoir calorifique inférieur	120,5 MJ/kg	50,3 MJ/kg	47,3 MJ/kg	44,8 MJ/kg	
Température de flamme dans l'air à 300K	2318 K	2148 K			
Limites d'inflammabilité dans l'air (vol%) LIE - LSE	4% - 75%	5% - 15%	1,4% - 8,7%	1% - 6%	2,2% - 100%
Limites de détonation dans l'air (vol%)	13% - 65%	6,3% - 13,5%	Vapeurs explosives	Vapeurs explosives	Air: 4,1% - 50% Oxygène: 3,5% - 92%
Energie explosive (kg de TNT.m ³ de gaz)	2,02	7,03			
Vitesse de flamme dans l'air	2,6 m/s	0,45 m/s			1,6 m/s
Vitesse de détonation dans l'air	2,0 km/s	1,8 km/s			
Vitesse ascensionnelle dans l'air	5-10 m/s				
T° d'auto-inflammation	585°C	600°C	280°C à 470°C	250°C	305°C
Energie	0,016 mJ	0,21 mJ			0,017 mJ
Caractéristiques	Extrêmement inflammable Gaz sous pression	Extrêmement inflammable, Gaz sous pression	Extrêmement inflammable Vapeurs explosives Toxique	Extrêmement inflammable Vapeurs explosives Toxique	Extrêmement inflammable Gaz sous pression Peut être toxique

L'hydrogène ne présente pas plus de risques - au global - que d'autres produits d'utilisation "courante" (Méthane, Essence, Gasoil, Acétylène).

Éviter le mélange hydrogène / air:



Circuits et raccords étanches adaptés à l'hydrogène sous pression, Contrôle permanent des pertes de pression (fuites), Inspection annuelle des circuits, Surventilation, ou bien détection du H2 avec arrêt du système, Contrôles avec électrovanne coupant immédiatement l'arrivée du H2.



Empêcher les étincelles ou la présence de corps chaud:

Par conception: déflecteurs, séparations, ou éloignement, Dans le cas où une zone ATEX est inévitable: consignes au personnel, distances d'éloignement (souvent 1 à 2m).



Empêcher toute surpression dans les circuits:

Dès la conception des appareils, coefficients de sécurité utilisés dans tous les composants, Contrôle permanent de la pression, qui entraîne la coupure automatique des appareils, Mise en place de soupapes de sécurité, disques de rupture.

En complément:

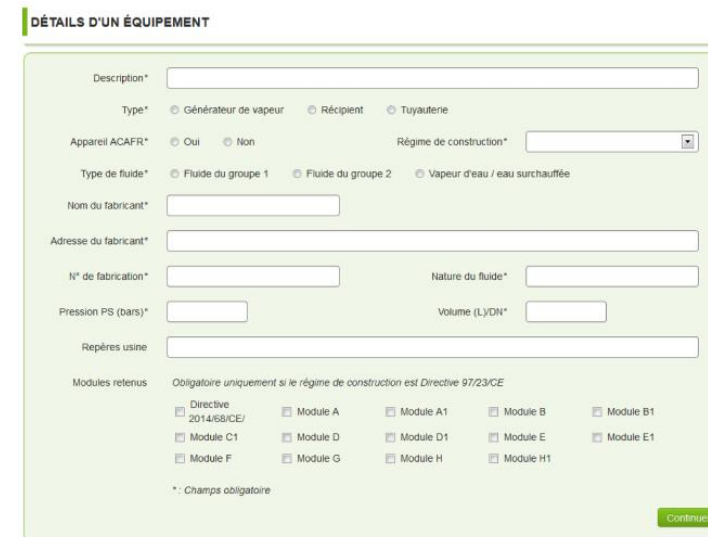


- Analyse de risques
- Sécurités multiples, arrêt total de la station sur alarmes critiques, ...
- Si possible: disposer en extérieur la PAC ou la station d'énergie (facultés de dilution rapide de l'hydrogène dans l'air libre). Les mesures à mettre en œuvre sont donc plus simples que si le matériel et le stockage H2 étaient intégrés dans un local.

Normes, décrets, réglementation

1 DREAL: DÉCLARATIONS

- Une déclaration de mise en service d'équipement sous pression (ESP) est réalisée par l'exploitant: < 15mn sur le site de la DREAL



- Déclaration (éventuelle) auprès de la DREAL:
 - Rubrique ICPE 4715 :
 - H2 > 100kg, et < 1t : l'installation est soumise à déclaration.
 - H2 > 1t, et < 5t: l'installation est soumise à autorisation.
 - H2 > 5t, et <50t: les directives Seveso "seuil bas" s'appliquent.
 - H2 > 50t: les directives Seveso "seuil bas" s'appliquent.

2 DIRECTIVE DES EQUIPEMENTS SOUS PRESSION (DESP)

La directive des équipements sous pression (DESP 2014-68-UE), qui est connue dans les domaines d'activité industrielle, consiste en:

Inspection initiale:

Remise d'un dossier et de l'ensemble des certificats des matériels "sous pression" à un organisme habilité, puis vérification sur site de l'installation par le même organisme, avec remise d'un certificat à l'issue.

Inspections périodiques (tous les 4 ans dans le cas général):

- vérification extérieure de l'équipement,
- vérification de la documentation
- **examen** des organes de sécurité
- investigations complémentaires si nécessaire

Requalification périodique de la cuve (10 ans dans le cas général):

- inspection visuelle intérieure et extérieure
- examen des documents
- réépreuve hydraulique, souvent avec de l'eau sous pression
- **vérification** des accessoires de sécurité

Normes, décrets, réglementation

3 PARTIE ÉLECTRIQUE

Pour l'installation électrique qui interface le bloc complet "pile à combustible":

- Textes classiques: NFC15-100, décrets de 2010,..
- Une attention particulière sur le système de coupure d'urgence / arrêt d'urgence.

4 POUR LA MISE EN OEUVRE SUR SITE D'UN ENSEMBLE "PILE A HYDROGÈNE"

La norme NFM.58.003 s'applique pour les "Installation de systèmes mettant en œuvre l'hydrogène".

Elle comprend les recommandations sur points suivants:

- Prévention et maîtrise des risques d'inflammation
- Exigences relatives aux éléments de l'installation: implantation et règles associées, règles de ventilation et détection
- Systèmes de mise en sécurité
- Installation et mise en service, Maintenance

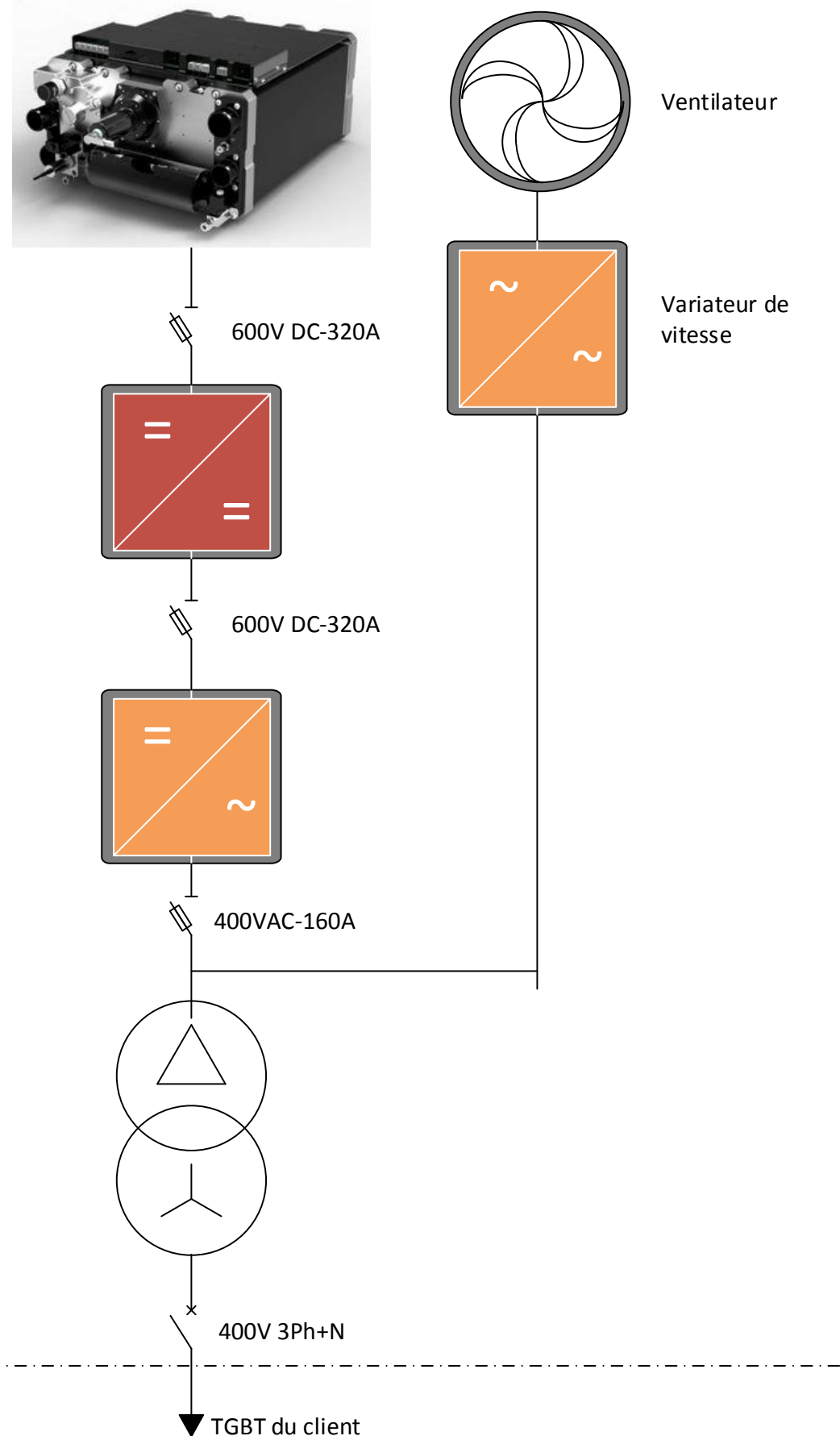
On préférera mettre une installation en extérieur, pour réduire de manière importantes les contraintes à mettre en œuvre.

Des distances d'éloignement sont entre 0,6m à 6m. Le plus souvent 1 à 2m.

Risques électriques : domaines de tension

Module Pile à combustible

30kW: 85-180VDC et 0-300A (125kg)
 60kW: 220-350VDC et 0-288A (244kg)
 85kW: 280-420VDC et 0-288A (256kg)
 100kW: 400-580VDC et 0-288A (285kg)



Ensemble pile à combustible

Tableau 1 : Domaines de tension

Domaines de tension	Courant alternatif	Courant continu
Très basse tension (TBT)	$U \leq 50 \text{ V}$	$U \leq 120 \text{ V}$
Basse tension (BT)	$50 \text{ V} < U \leq 1\,000 \text{ V}$	$120 \text{ V} < U \leq 1\,500 \text{ V}$
Haute tension A (HTA)	$1\,000 \text{ V} < U \leq 50\,000 \text{ V}$	$1\,500 \text{ V} < U \leq 75\,000 \text{ V}$
Haute tension B (HTB)	$U > 50\,000 \text{ V}$	$U > 75\,000 \text{ V}$

Dans son intégration interne, la pile à combustible ne fait appel qu'à de la Basse-Tension (BT): les tensions mises en jeu ne dépassent pas 600VDC et 400VAC.

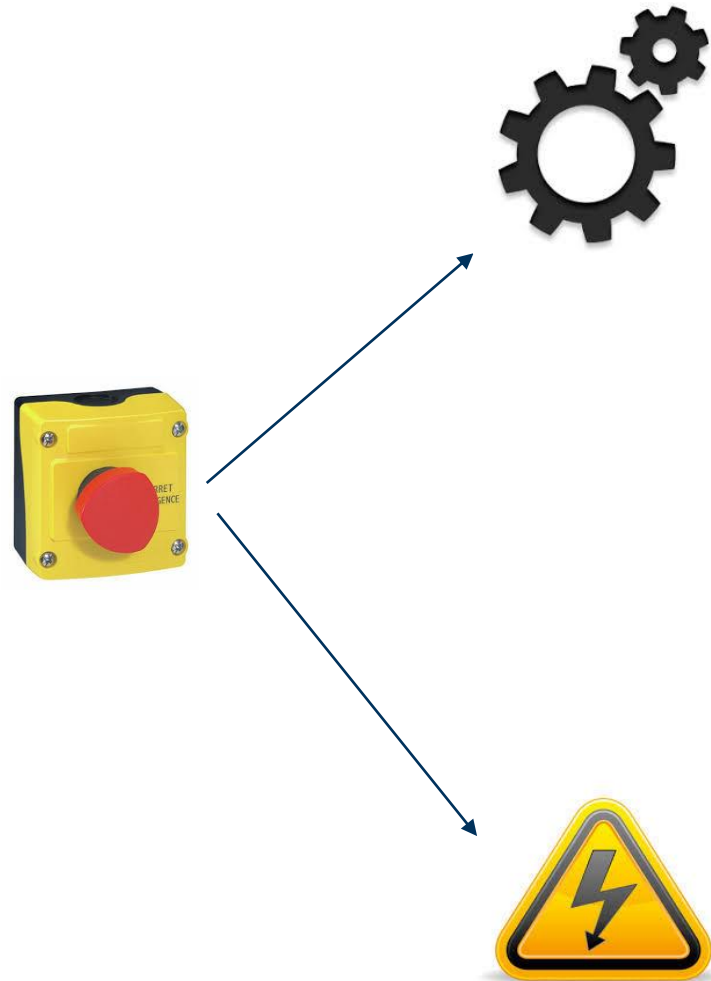
Les circuits auxiliaires sont en 24V (TBT).

Dans son environnement, l'ensemble "pile à combustible" est raccordée à un réseau BT classique de 400VAC 3Ph+N.



Grâce au transformateur d'isolement, il est possible de se raccorder sur n'importe quel réseau électrique, et sur les différents régimes de neutre possibles (TT, TN, IT).

Risques électriques: coupure et arrêt d'urgence



Arrêt d'urgence:

Système d'**arrêt** d'un **process** ou d'un **mouvement** dangereux risquant de mettre en péril les biens et les personnes. Cet arrêt peut nécessiter une **séquence d'actions** déterminées pour mettre en sécurité le matériel ou l'ensemble des matériels.

Il s'agit là de la "directive machine", qui est appliquée par le constructeur de l'**ensemble** "pile à combustible".

Le module pile à combustible s'arrête immédiatement, et l'arrivée de H2 est coupée grâce à une électrovanne.

Un bornier permet d'interfacer ce système interne d'arrêt d'urgence avec le coup de poing chez le client.

Coupure d'urgence:

système de **coupure immédiate** des **sources d'énergie électriques** d'une installation, lorsqu'elles risquent de générer un choc électrique ou tout autre dégât électrique sur les biens et les personnes.

Dans son environnement, l'**ensemble** "pile à combustible" est raccordée à un réseau BT classique de 400VAC 3Ph+N: il suffit tout simplement de prévoir un système de coupure sur le départ électrique de l'**ensemble** "pile à combustible" (dispositifs classiques: déclencheur Mn ou Mx, contacteur).

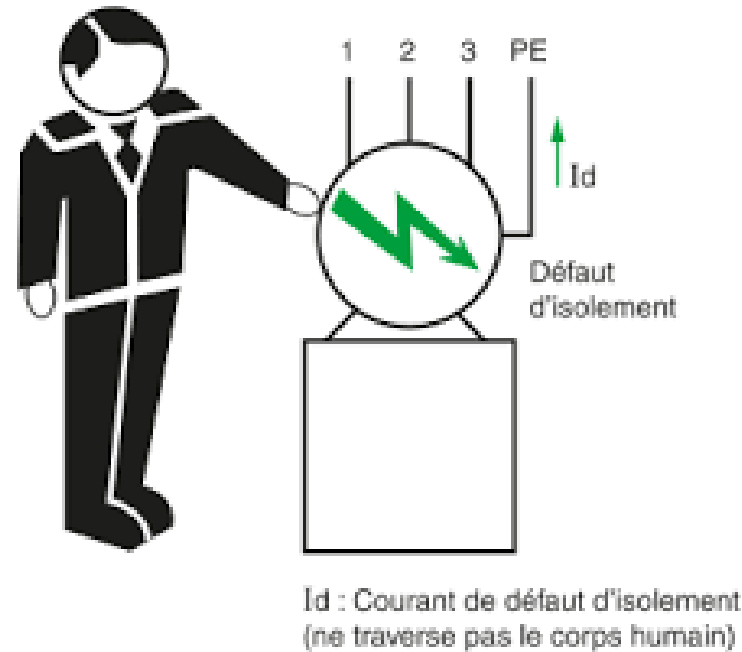
Souvent, cet appareil est déjà intégré dans l'**ensemble** "pile à combustible".



Information:

Lorsque l'on coupe l'arrivée en combustible (H2) de la pile, celle-ci peut continuer à fournir de l'électricité, car il reste un mélange H2+air dans celle-ci. La sortie est coupée grâce au système de coupure électrique précité.

Risques électriques: défaut d'isolement



Dispositions communes:

En interne: la plupart des modules piles à combustibles n'ont pas de polarité de sortie (DC) à la terre. Dans ce cas là, on est en présence d'un régime IT standard.

⇒ Les dispositions communes s'appliquent, avec la présence d'un contrôleur permanent d'isolement (CPI).

Mise en œuvre chez le client: grâce au transformateur d'isolement, il est possible de se raccorder sur n'importe quel réseau électrique, et les différents régimes de neutre possibles (TT, TN, IT).

⇒ Les dispositions communes s'appliquent.

Dispositions spécifiques:

En interne: le module pile à combustible doit être refroidi, et utilise souvent un liquide de refroidissement. Ce liquide peut devenir partiellement conducteur lorsque ses caractéristiques se dégradent.

⇒ Mise en place d'un contrôleur permanent de la conductivité du liquide de refroidissement (Ex: $5\mu\text{S}/\text{cm}$).



R i s q u e s é l e c t r i q u e s : i n t e r v e n t i o n s

Intervention dans l'ensemble PAC:

Toutes les interventions se font hors tension.

Avant d'intervenir:

- Plus de tension DC présente en sortie de PAC (celle-ci ayant un mélange H₂+AIR résiduel après la coupure de l'électrovanne d'arrivée H₂): mesure entre + et -, et mesure entre +/-terre et -/terre.
- Attendre 1mn que les capacités des convertisseurs DC/DC et DC/AC soient déchargées, mesurer la tension à cette issue.

Equipements de Protection Individuels (EPI):

- Les équipements sont standards: gants isolants, masque facial,..
- Utilisation d'un VAT pour la vérification de l'absence de tensions.

MERCI !



CONTACT



20 rue Marie de Lorraine
ZAC des Fougerolles
37 700 La Ville-aux-Dames



facebook.com



<https://twitter.com/PowiDian>



Technique: fabien.claudon@powidian.com
Commarcial: jean-emmanuel.boucher@powidian.com



+33 (0) 6 87 66 46 01
+33 (0) 6 37 29 98 98