

# Guide des Solutions Hydrogène

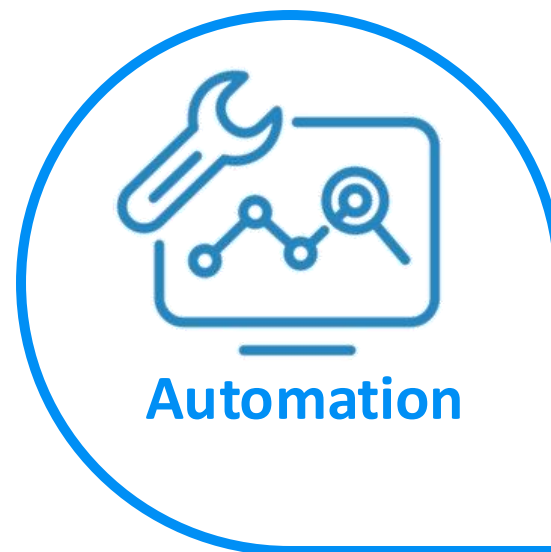
de la filière électronumérique



Une publication

**GIMELEC**

dans le cadre de son partenariat avec



**Automation**



Jan. 2025

# Introduction



## À propos de la Commission Hydrogène du GIMELEC

La Commission Hydrogène du GIMELEC rassemble plus de cinquante industriels, actifs sur l'ensemble de la chaîne de valeur de l'hydrogène, depuis sa production jusqu'à son usage (industrie, mobilité, H<sub>2</sub>-to-Power...) en passant par son transport et son stockage. Leurs solutions permettent d'accompagner les développeurs de projets et d'optimiser le fonctionnement, la sécurité, les coûts et l'empreinte environnementale des installations hydrogène.

<https://gimelec.fr/hydrogene>



## À propos de ce guide

Cette publication s'adresse aux développeurs de projets et intégrateurs. Elle a été réalisée par le GIMELEC, dans le cadre de son partenariat avec France Hydrogène. **La première partie est un « Livre Blanc »** identifiant les enjeux et contraintes de l'automatisation le long de la chaîne de valeur de l'hydrogène ; la [deuxième partie](#) présente les solutions permettant d'y répondre et constitue un annuaire des entreprises du GIMELEC.

Les entreprises du GIMELEC proposent notamment des solutions pour l'alimentation électrique des électrolyseurs, l'automatisation et l'instrumentation. Cette section du guide est consacrée à l'automatisation pour l'hydrogène.



## À propos du GIMELEC

Le GIMELEC fédère les entreprises de la filière électronumérique française. Nos 210 adhérents conçoivent, fabriquent et déploient les solutions d'électrification, d'automatisation et de digitalisation pour l'industrie, les bâtiments, la mobilité, les infrastructures énergétiques et numériques.

<https://gimelec.fr>



## À propos de France Hydrogène

Réunissant 450 membres, France Hydrogène fédère les acteurs de la filière française de l'hydrogène structurés sur l'ensemble de la chaîne de valeur : grands groupes industriels, PME-PMI, start-ups, laboratoires et centres de recherche, associations, pôles de compétitivité et collectivités territoriales.

Le GIMELEC est partenaire de France Hydrogène, et ce document s'inscrit dans la continuité et en complémentarité du [Panorama des solutions hydrogène](#) édité par France Hydrogène.

# Sommaire

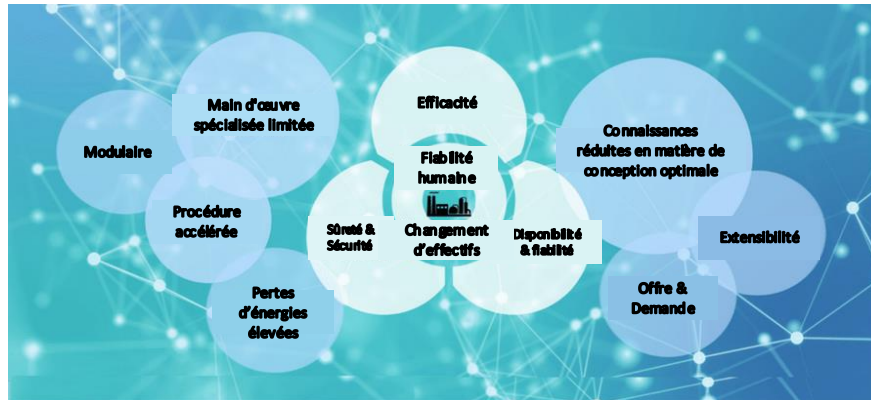
## PAGES

- 4-5 L'automation dans l'hydrogène: pour quoi et pour qui ?
- 6-7 Enjeux spécifiques le long de la chaîne de valeur de l'hydrogène
- 8-9 Principes généraux de l'automation
- 10 Solutions complètes d'automation
- 11 → Modélisation & simulation
- 12-13 → Jumeau numérique
- 14-15 → Gestion de l'énergie
- 16-17 → Cybersecurité
- 18 → Conformité en matière de sécurité
- 19-20 → Soutenabilité
- 21 Entreprises proposant des solutions



# L'AUTOMATION DANS L'HYDROGÈNE (1/2)

## Les grands défis de l'automatisation dans l'hydrogène



- Cybersécurité
- Surveillance des actifs

### Augmentation de la capacité

- Solutions standards et modulaires.
- Montée en échelle progressive de quelques MW aux centaines de MW et à l'échelle GW

### Flexibilité électrique et contrôle de procédé

- Optimisation du LCOH par la réduction des coûts via la flexibilité dans l'alimentation électrique en amont tout en assurant la production.
- Intégration de l'intermittence électrique avec les procédés aval dans les projets P2X (procédés continus moins flexibles)

### Réduction des CAPEX / OPEX

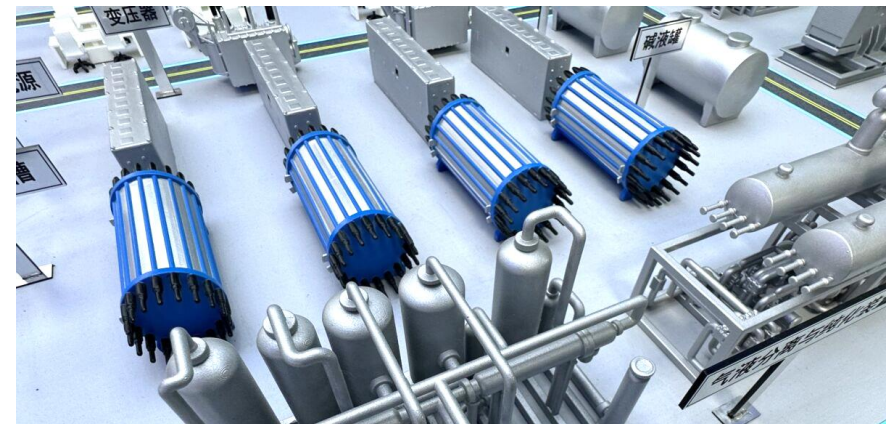
- Optimisation du coût de l'approvisionnement en énergie renouvelable
- Synergies de la valorisation de l'oxygène et de la chaleur résiduelle
- Optimisation de l'usine et amélioration de l'efficacité opérationnelle
- Maintenance à distance et prédictive

### Réduction de l'empreinte carbone

Traçabilité complète des consommations d'énergie et des émissions de GES tout au long de la chaîne de valeur

### Sécurité des opérations et des travailleurs

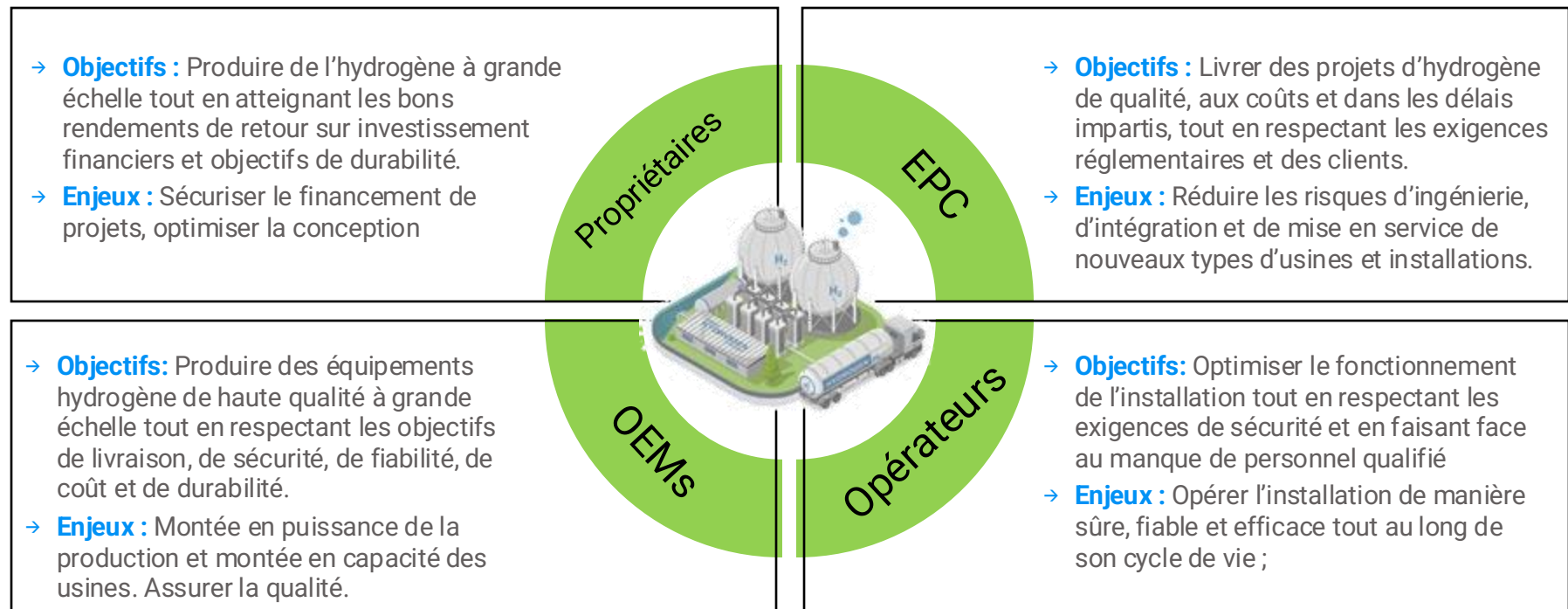
- Contrôle et sécurité des processus
- Maintenance efficace



## L'AUTOMATION DANS L'HYDROGÈNE (2/2)

### Les solutions d'automatisation répondent aux principaux enjeux des parties prenantes

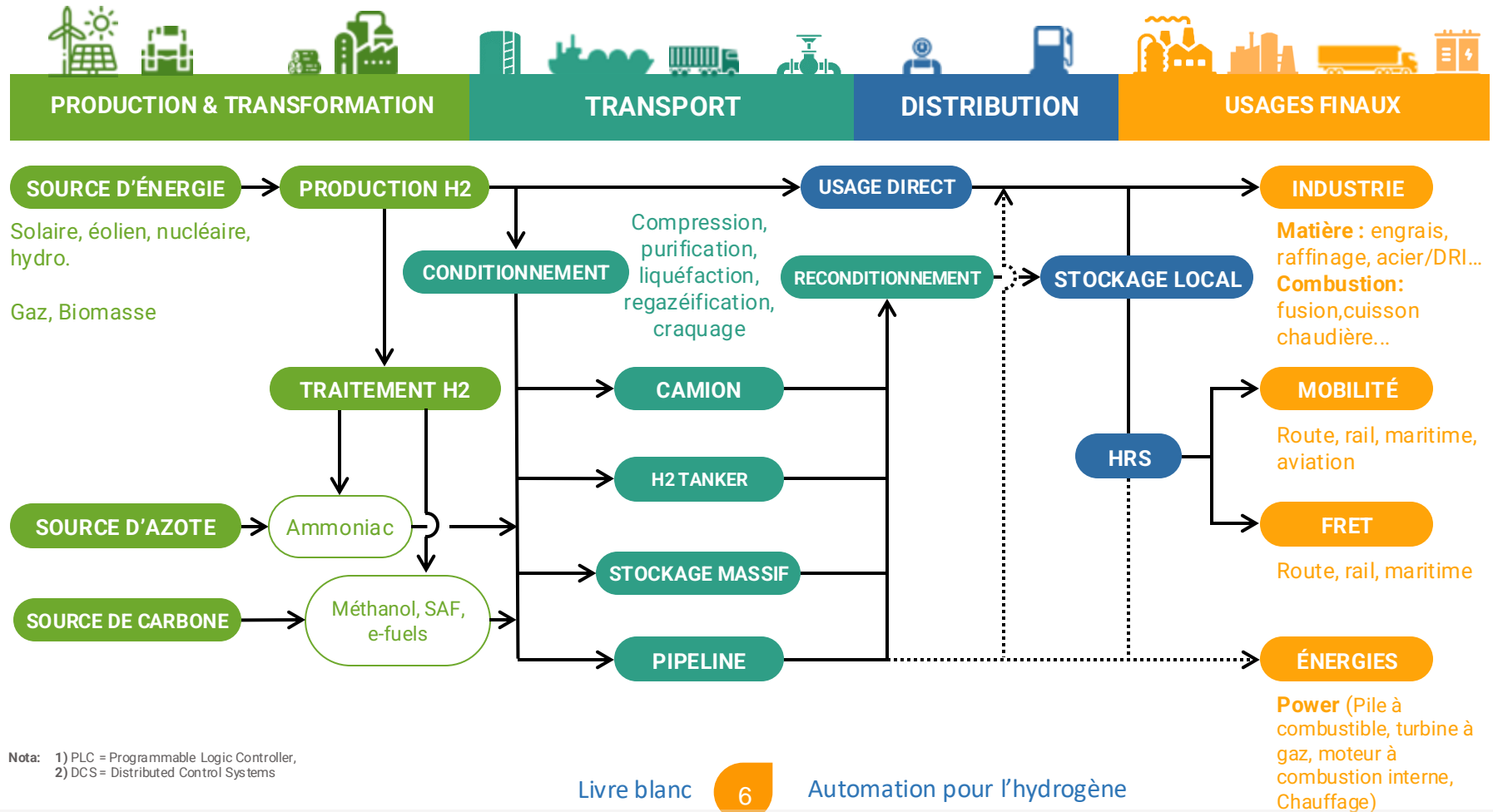
Les solutions d'automatisation aident les principales parties prenantes à atteindre leurs objectifs tout au long du cycle de vie d'un projet hydrogène :



## ENJEUX SPECIFIQUES (1/2)

### Chaîne de valeur de l'hydrogène et des dérivés

Les équipements d'automatisation sont présents tout au long de la chaîne de valeur de l'hydrogène et de ses dérivés. Bien que le principe de fonctionnement soit très similaire d'une solution à l'autre, les fonctionnalités peuvent être très différentes en fonction du contexte (ex PLC<sup>1</sup> vs. DCS<sup>2</sup>).

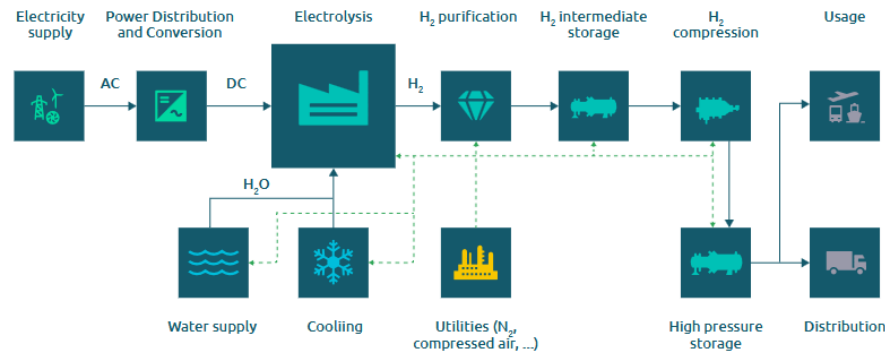


## ENJEUX SPECIFIQUES (2/2)

### Quoi de neuf dans l'automatisation pour l'hydrogène ?

L'hydrogène vert n'est pas nouveau, mais sa production à grande échelle est nouvelle et nécessite des investissements massifs qui mobilisent de nouvelles technologies et compétences. Avec l'augmentation du nombre d'usines, la technologie et les connaissances évoluent et permettent d'obtenir de meilleurs rendements, des durées d'exploitation plus longues, une plus grande disponibilité des installations et, en fin de compte, un coût moins élevé de l'hydrogène. Atteindre ces objectifs est un défi mobilisateur.

L'automatisation des usines d'hydrogène vert est différente d'autres industries de procédé comme la chimie parce que sa capacité de production est répartie sur de nombreux modules en parallèle au lieu de quelques réacteurs de grande capacité. Une usine d'hydrogène vert est composée de plusieurs modules, tels qu'un système d'électrolyse, un système d'alimentation électrique, un système d'alimentation en eau et un système de compresseur. La construction en phase agrègera ces modules qui ont déjà leur contrôle commande pour chaque étape du procédé et avec les étapes suivantes.



Exemple de configuration multi-modules pour l'électrolyse H<sub>2</sub> & distribution HRS

Crédits : Siemens, Yokogawa

L'automatisation des installations modulaires est nouvelle, de sorte que les plans disponibles sont limités. Plusieurs parties prenantes sont impliquées, telles que le propriétaire, le fournisseur de cloud, l'EPC et les fournisseurs des différents modules. En raison des nombreuses parties prenantes, une stratégie est nécessaire pour les opérations, la maintenance, la sécurité, l'automatisation, l'intégration et la cybersécurité. Pour fusionner les systèmes modulaires et la surveillance des performances de l'installation, un système traditionnel de contrôle et d'acquisition de données (SCADA) ou un système de contrôle distribué (DCS) n'est plus suffisant. Selon le modèle de référence d'entreprise de Purdue (ISA-99), les deux systèmes (SCADA et DCS) ne sont pas conçus pour réaliser simultanément l'intégration verticale et horizontale des données.

**Intégration horizontale** : désigne la combinaison des différents systèmes modulaires des étapes du procédé du site (conversion électrique, électrolyse, compression...). Souvent, ces équipements ont différentes interfaces/protocoles tels que UPC UA, Profibus DP, Modbus TCP/IP ou IEC61850.

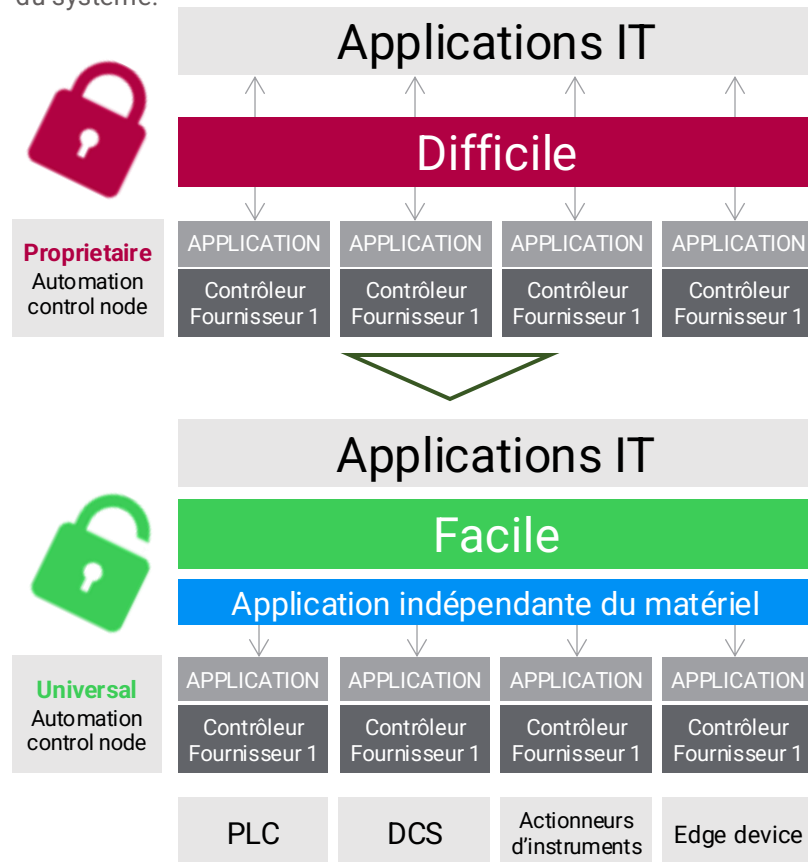
**Intégration verticale** : désigne l'intégration des équipements jusqu'à l'administration de l'activité avec le cloud ou le centre distant. Une interface typique avec le cloud est, par exemple, MQTT. La cybersécurité et l'optimisation du procédé sont cruciales.

Pour les grands sites, l'intégration horizontale et verticale sont souvent dans deux systèmes différents. Cependant, pour une usine d'hydrogène vert, ces solutions distinctes sont trop complexes et trop lourdes. De nouvelles solutions intégrées sont nécessaires. L'intégration couvre les données et l'interface homme-machine (IHM), mais aussi la sécurité et vise une efficacité et en toute sécurité avec un nombre minimal d'opérateurs parfois à distance.

## PRINCIPES GENERAUX (1/2)

### Principe et concept

L'automatisation universelle permet de découpler les applications logicielles d'automatisation du matériel, réduisant ainsi considérablement la complexité du système.

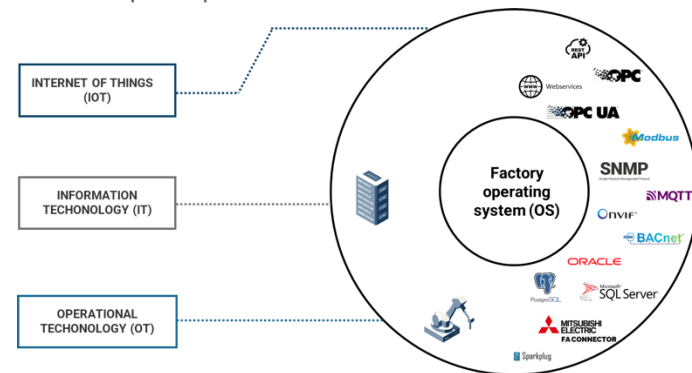


Crédits : Mitsubishi Electric, Schneider Electric

### Fondations technologiques

L'automatisation universelle repose sur 2 fondations technologiques clés

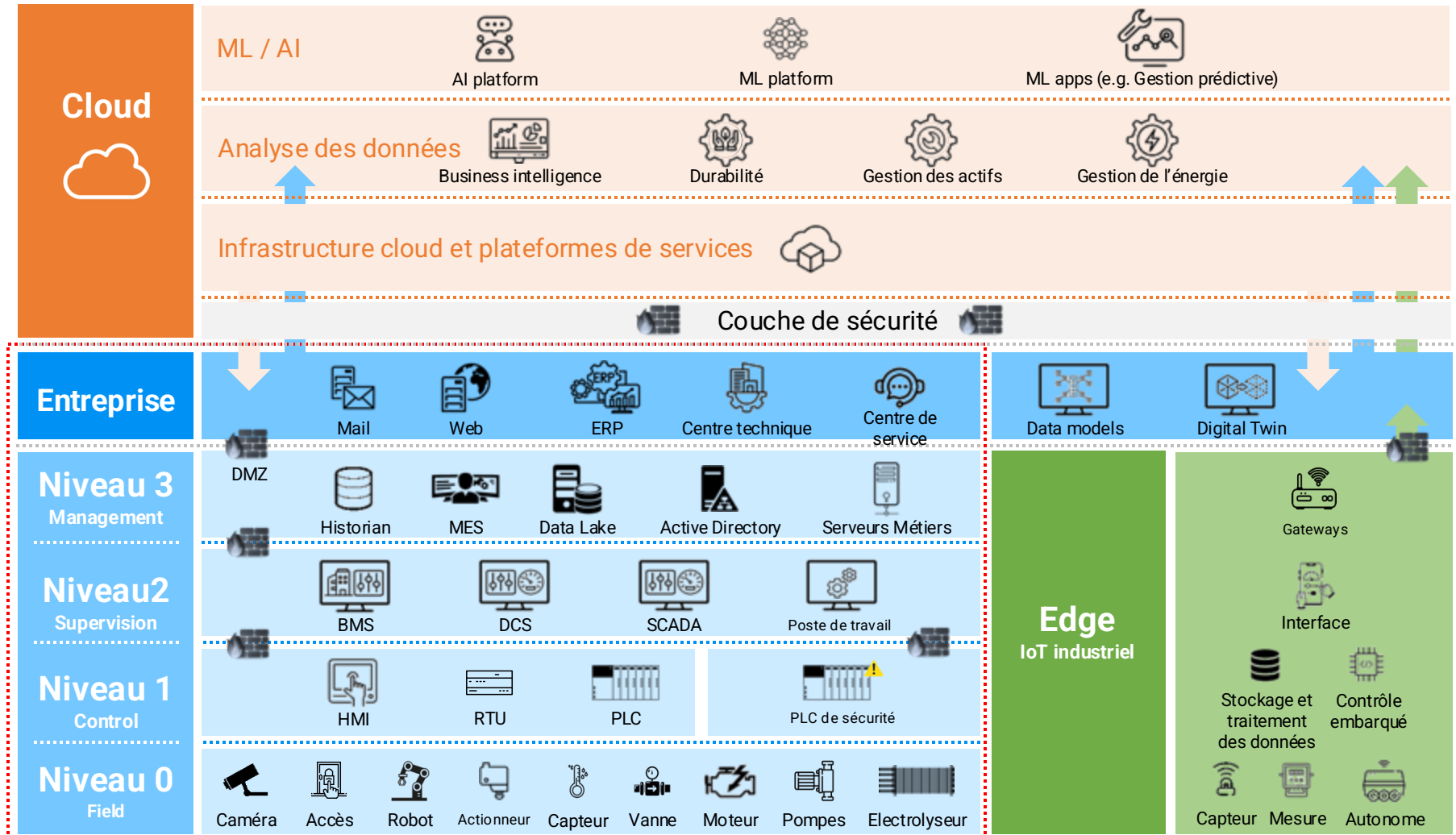
- **Connectivité et Modèles de données standardisés (OPC UA) :** Au cœur de l'automatisation universelle, la norme OPC UA répond au besoin de connectivité et d'interopérabilité des données standardisées pour les communications de données horizontales et verticales. Un exemple de communications horizontales est la connectivité de données Machine-to-Machine (M2M) entre les systèmes du procédé. Un exemple de communications verticales est le transfert de données des équipements au cloud. Dans les deux axes, OPC UA fournit une base sécurisée et fiable facilitant la connectivité et l'interopérabilité des données. OPC UA permet l'interopérabilité des modèles de données prédéfinis ou spécifiques à l'utilisateur.



- **Plateforme d'automatisation :** Toutes les applications IT/IoT communiquent de façon transparente avec le matériel OT grâce à une plateforme logicielle qui permet d'abstraire tous les équipements sous-jacents. Cette approche middleware permet de regrouper et de contextualiser toutes les données provenant de différentes sources dans un modèle structuré à l'intérieur d'une plateforme évolutive.

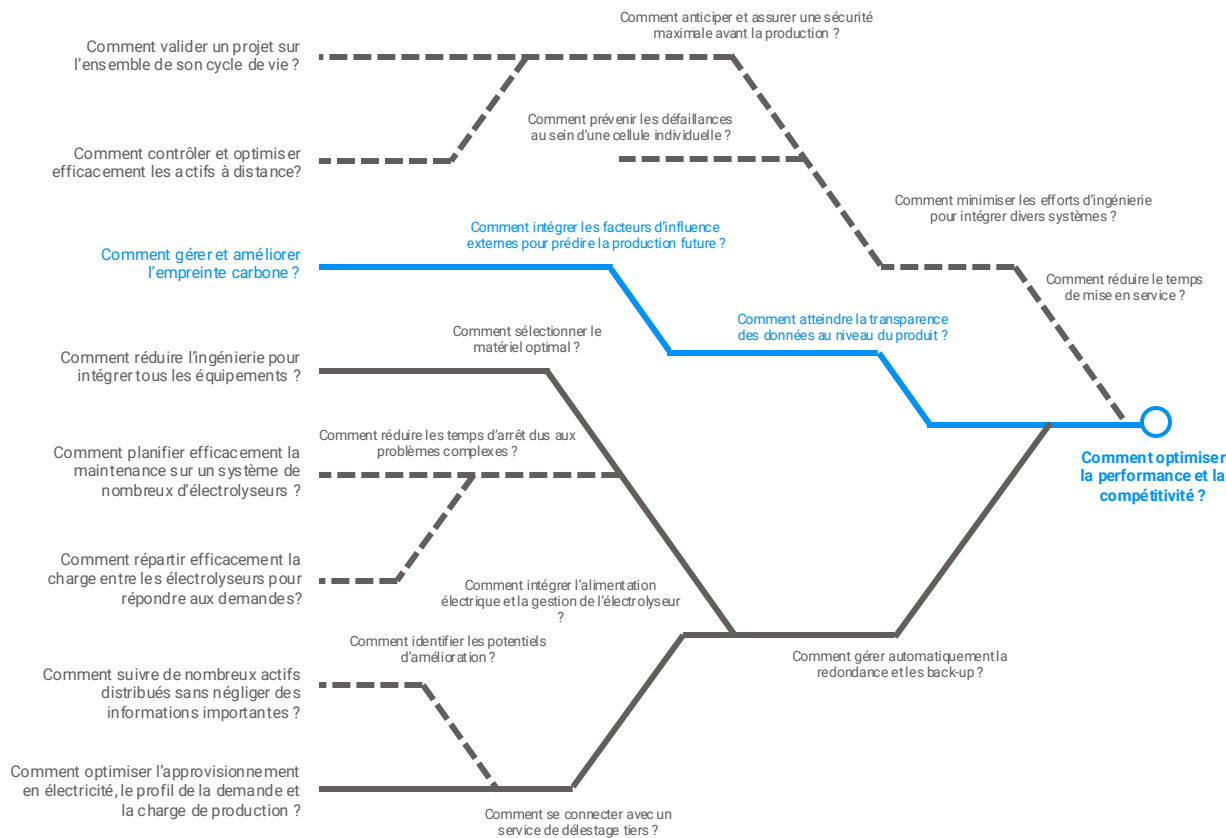


## PRINCIPES GENERAUX (2/2)



# SOLUTIONS COMPLETES D'AUTOMATION

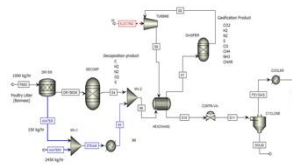
De nombreux défis (dans le domaine de l'hydrogène) peuvent être résolus avec quelques solutions d'automatisation transversale



## SOLUTIONS

- 1 HARMONISATION
- 2 STANDARDISATION
- 3 MODÉLISATION & SIMULATION
- 4 MESURE
- 5 CONFORMITÉ DE SÉCURITÉ
- 6 CYBERSÉCURITÉ
- 7 **SOUTENABILITÉ**
- 8 GESTION DE L'ÉNERGIE
- 9 CONTRÔLES DÉCENTRALISÉS
- 10 OPTIMISATION DU CYCLE DE VIE
- 11 ORCHESTRATION UNIFIÉE

# MODÉLISATION & SIMULATION



“Simulation des processus P2X de bout en bout”

## Enjeux pour l'ingénierie d'avant-projet

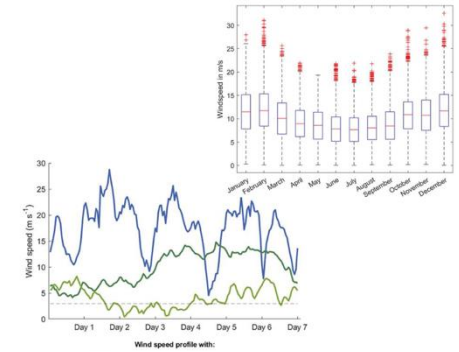
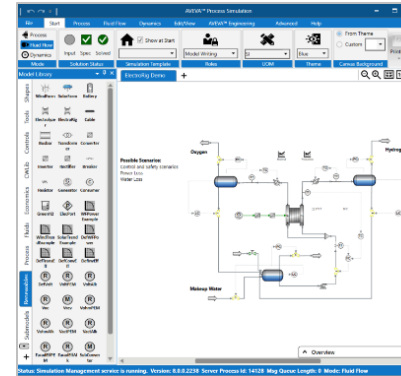
Dans les premières étapes d'un projet hydrogène/P2X, de nombreuses questions d'ingénierie complexes se posent :

- Qu'est-ce qu'on construit ?
- Où construisons-nous ?
- Quelle doit être sa taille ?
- Combien cela va-t-il coûter ?
- Quels profits allons-nous réaliser et quand ?

L'ingénierie de base commence par des simulations qui s'appuient sur l'étude conceptuelle, mais qui ajoutent la précision requise pour fournir les unités nécessaires à l'estimation des coûts et à la sélection des fournisseurs. Les simulations couvrent une grande variété de cas d'usage

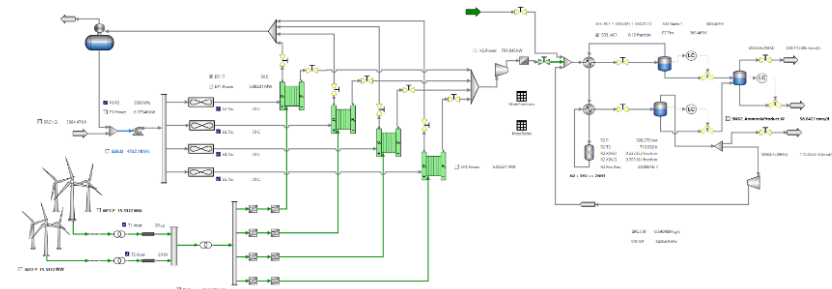
- Etudes de faisabilité avec modélisation des intermittences (éoliens et solaires)
- Analyse économique et de durabilité
- Contrôle de charge et stratégies de fourniture PPA
- Optimisation de la conception
- Environnement d'ingénierie unifié pour les applications P&ID, 3D et d'exécution de projet

Les données générées par les simulations sont transmises à une série d'outils d'ingénierie facilitant les P&ID préliminaires, les fiches techniques préliminaires et les implantations (3D).

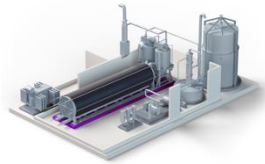


## Processus de conception intégré

Entre autres utilisations, les jumeaux numériques sont extrêmement utiles pour concevoir des processus P2X intégrés au niveau équipement. Lors de l'exploitation d'un processus industriel à grande échelle, un temps de disponibilité élevé et un fonctionnement continu du processus sont essentiels pour la stabilité et l'efficacité du réacteur. Cependant, les énergies renouvelables sont intrinsèquement intermittentes. La conception d'un système complet qui équilibre les dépenses liées aux sources d'énergie renouvelables, aux stocks tampons et au temps de fonctionnement du réacteur, est le principal facteur de LCOx de l'usine.



# JUMEAU NUMÉRIQUE (1/2)

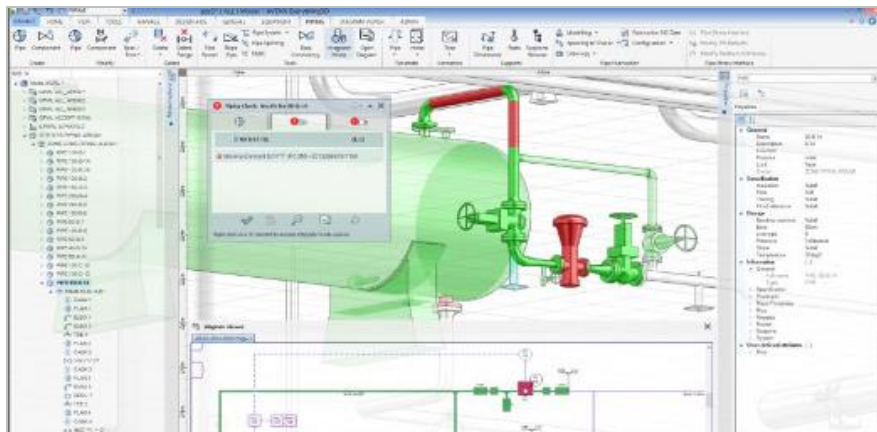


« Réduit le cycle de conception et optimise le LCOH »

## Introduction aux jumeaux numériques

Les développeurs H2 cherchent des moyens de consolider leurs business plans et les **jumeaux numériques** peuvent jouer un rôle important en permettant d'adresser la complexité de ces projets tout en gardant une flexibilité qui permet de gagner en visibilité et crédibilité sur les performances.

En **reproduisant les opérations réelles de l'usine dans des simulations virtuelles**, les ingénieurs peuvent optimiser les conceptions, identifier les problèmes potentiels à un stade précoce et fiabiliser les processus de production et de construction. Cela permet donc de **réduire les temps de mise en service, mais aussi les coûts de production**.

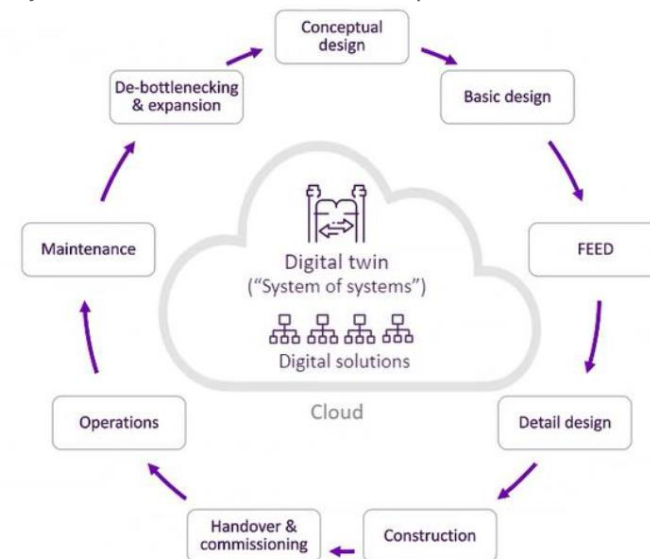


Crédits : McKinsey, Schneider Electric/Aveva

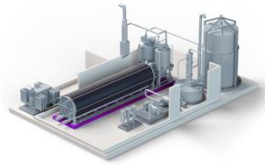
Un jumeau numérique est une représentation numérique d'un système physique (produit, procédé, usine) capable reproduire son comportement donc de prédire ses performances. Les jumeaux numériques sont utilisés pour **simuler et optimiser le produit et le système** sur tout le cycle de vie de la conception et pilotes jusqu'aux extension et maintenances, **avant d'investir dans des prototypes physiques ou d'implémenter une usine active**.

Les jumeaux numériques unifient l'environnement de données d'ingénierie avec celui des données opérationnelles en un **seul environnement intégré** dans la plateforme numérique connectée à tous les équipements et applications d'entreprise.

La puissance du jumeau numérique vient de sa capacité à inclure une infinité de détails pour optimiser l'ensemble du processus et l'améliorer dans un cycle raccourci d'itération numérique.



## JUMEAU NUMÉRIQUE (2/2)

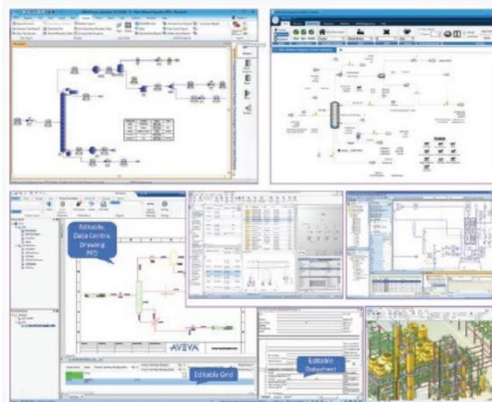


« Réduit le cycle de conception et optimise le LCOH »

### Intégration de la conception

La puissance d'un jumeau numérique vient de sa capacité à **reproduire rapidement des installations complexes sous un ensemble de contraintes** (par exemple réglementaires pour l'hydrogène vert). Cela permet de **comparer les alternatives** comme des technologies d'électrolyseurs ou des stratégies de systèmes pour faire face aux intermittences ou aux opportunités de flexibilité électrique.

Par exemple, on peut surdimensionner l'électrolyseur ou bien le stockage et observer en détail les impacts sur la vie de l'usine, pour augmenter la confiance dans la conception prévue.

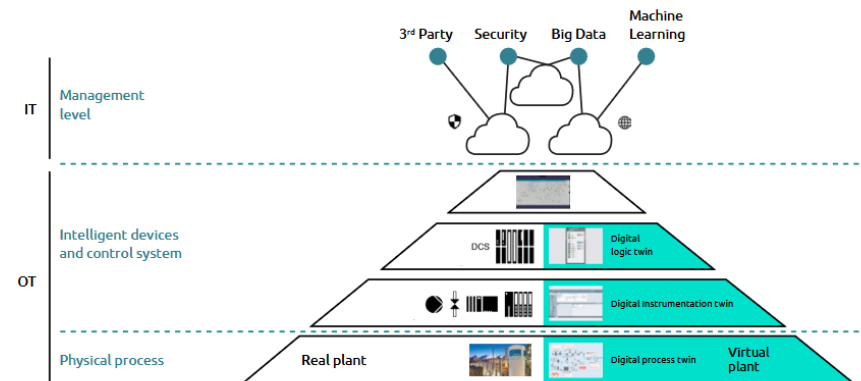


L'ingénierie intégrée dans l'environnement cloud permet aux équipes multidisciplinaires de **collaborer à partir d'une source commune de données** en 1D, 2D et 3D.

### Intégration de l'exploitation

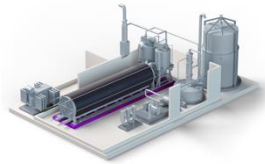
Les jumeaux numériques peuvent offrir des avantages au-delà de la conception et de la construction initiale. Lorsqu'ils sont correctement mis en place, les jumeaux numériques permettent des utilisations **tout au long du cycle de vie de l'usine**, comme l'exploitation, l'augmentation de capacité et la maintenance.

L'exploitation de l'usine est optimisée avec un jumeau numérique, ce qui permet de mieux intégrer les besoins de maintenance de l'usine et d'**améliorer la planification** ainsi qu'une **meilleure prévision des coûts d'exploitation** de l'usine.



Une architecture de système d'automation bien conçue est essentielle pour exploiter le jumeau numérique en exploitation, car les données de l'usine sont nécessaires pour utiliser le jumeau numérique. Grâce à cette intégration, le jumeau numérique est utilisé dans l'exploitation et la maintenance quotidiennes de l'usine et reste donc toujours à jour.

## GESTION DE L'ÉNERGIE (1/2)



« Optimiser le choix de la source d'énergie et réduire le LCOH »

### Le problème de la gestion de l'énergie dans l'Hydrogène:

Le prix de l'hydrogène provient à 70 % du coût de l'électricité. Les 30 % restants dépendent des dépenses d'investissement et d'exploitation. Il est donc essentiel de s'approvisionner en électricité renouvelable au plus bas prix pour tous les projets d'hydrogène vert.

Mais la production d'hydrogène doit également prendre en compte les contraintes d'utilisation en aval notamment les profils de charge des procédés industriels (P2X, ammoniac, fours, raffinage, DRI) et garantir la continuité de l'approvisionnement.

La combinaison de toutes ces contraintes ajoute une grande complexité à la gestion des installations de production d'hydrogène. C'est là que les systèmes de gestion de l'énergie (EMS) de pointe deviennent utiles.

### Optimiser le choix des sources d'énergie

La production d'hydrogène renouvelable peut s'appuyer sur un mélange de différentes sources ayant des caractéristiques différentes et des prix qui varient à un rythme infra-horaire.

Différents paramètres doivent être pris en compte dans ces choix de fourniture : connexion directe ou contractuelle, paiement de la production de base ou réel, problématiques transfrontalières, localisation d'actifs, structure tarifaire des PPA, co-investissements, effacement et flexibilité...

### Distribution électrique pour l'hydrogène renouvelable

Pour une connexion robuste et au bon moment à ces sources d'électricité, les centrales d'hydrogène renouvelables doivent optimiser leur architecture de distribution électrique avec leur modularité et en maximisant l'utilisation d'équipements standards.

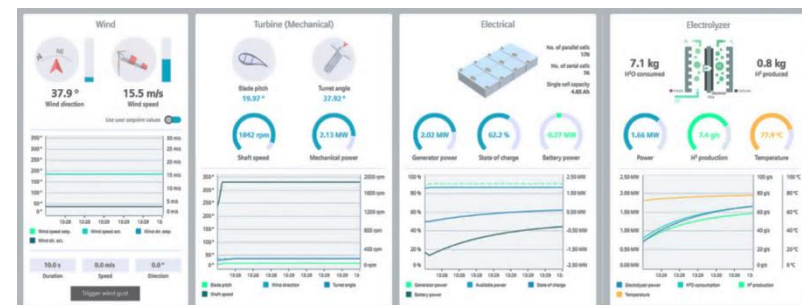
Les contraintes sont multiples : compacité, contrôle de la puissance active/réactive, harmoniques dans le réseau, hétérogénéité de tension des sources renouvelables; fluctuation rapide de puissances, maintenances...

👉 Ces aspects sont détaillés dans la rubrique « alimentation électrique » du guide hydrogène du Gimelec

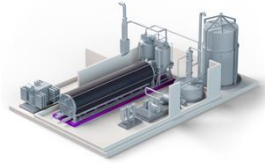


### Systèmes de gestion de l'énergie (Energy Management System)

Les systèmes de gestion de l'énergie sont des solutions numériques construites sur des systèmes d'automation, couplant la production d'hydrogène à la production d'énergie renouvelable, au réseau électrique et aux utilisateurs d'hydrogène en aval. **Disposer d'un EMS est un prérequis pour mettre en œuvre des stratégies de délestage avec des agrégateurs de flexibilité tiers.**



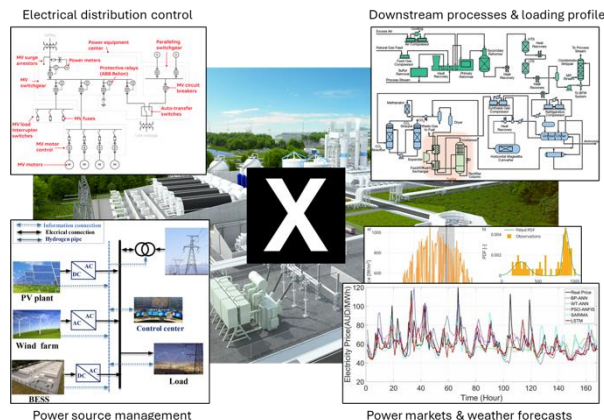
## GESTION DE L'ÉNERGIE (2/2)



« Optimiser le choix de la source d'énergie et réduire le LCOH »

### Principales sources de données de l'EMS

- Fournisseurs de services de données tiers (par exemple, analyses du marché de l'électricité, prévisions météorologiques...)
- Le jumeau numérique incluant la production d'énergie renouvelable, le système de distribution électrique, l'électrolyseur et tous les processus en aval (compression, stockage, conditionnement etc.),
- Le concentrateur de données pour calculer les kg d'hydrogène renouvelable par jour et €/kg,... et mettre en place des KPI spécifiques tels que RED2 ou RFNBO.
- Système de maintenance des performance des actifs



Sources : Schneider Electric, Siemens, ABB

### Principaux éléments constitutifs du système EMS

Le système EMS est composé de trois éléments principaux :

**1) Une plateforme en ligne pour connecter, surveiller et contrôler** toutes les sources d'énergie décentralisées, la distribution électrique, la pile d'électrolyseurs et le BoP depuis une interface unique.

- Transparence sur la consommation énergétique et les performances en matière de développement durable
- Amélioration continue de l'efficacité énergétique
- Obtenir et maintenir la certification ISO 500001

**2) Des outils de planification prévoyant la consommation d'énergie** et calculant le calendrier d'approvisionnement énergétique correspondant

- Prévoir avec plus de précision la demande énergétique
- Optimiser le plan de production le plus économique
- Acheter les bonnes quantités d'énergie sur un marché de l'électricité libéralisé et minimiser les coûts

**3) Outils holistiques d'optimisation de l'offre et de la demande énergétique** utilisant des algorithmes de contrôle prédictif prenant en compte :

- Les énergies renouvelables et leurs prévisions de production
- Contrats d'achat d'électricité (PPA) existants
- Marché de gros et ses prévisions
- Caractéristiques et cycle de vie de l'électrolyseur
- Demande en H2, capacité de stockage et prévisions de production
- Décision d'exporter de l'énergie
- Décision d'utiliser la flexibilité du processus

## CYBERSÉCURITÉ (1/2)



« Assurer la sécurité et la continuité d'exploitation tout en intégrant les outils numériques de gestion »

### Pourquoi la cybersécurité est-elle importante ?

Dans le monde hyperconnecté d'aujourd'hui, les installations industrielles sont une cible constante de cyberattaques et les usines de production d'hydrogène ne font pas exception et doivent se conformer aux réglementations relatives aux infrastructures critiques.

Les centrales à hydrogène nécessitent donc une protection adéquate pour assurer la continuité des opérations tout en intégrant la technologie numérique pour maximiser les résultats de l'entreprise.

### Scénarios de dommages potentiels

Un problème majeur en matière de cybersécurité sont les attaques **DDoS**<sup>1</sup> qui visent à bloquer des systèmes et des données en bloquant les services ou en surchargeant le réseau. En outre il y a une augmentation substantielle des **ransomwares**, où les attaquants chiffrent les données d'une entreprise et exigent un paiement pour leur libération.

Les conséquences de ces attaques dépassent les perturbations opérationnelles immédiates avec un risque sérieux pour la sécurité des personnes et de l'environnement. Alors que le vol de propriété intellectuelle porte atteinte aux avantages concurrentiels, l'extorsion par ransomware peut entraîner des pertes financières importantes. En outre, la confiance des clients et la position sur le marché sont profondément affectées par l'atteinte à la réputation.

**Sources** : Schneider Electric, Siemens, Weidmüller  
**Remarque** : 1) DDoS = Distributed Denial of Service

### Vulnérabilités spécifiques aux installations d'hydrogène

La vulnérabilité des usines de production d'hydrogène et d'autres installations industrielles résulte de **l'intégration de plus en plus étroite des systèmes OT et IT, qui fragilise la protection historique des environnements OT** contre les cyberattaques. La modularité et les nombreux équipements des installations d'hydrogène sont vulnérables aux défauts de communication qui doit rester transparente.

Contrairement aux usines conventionnelles ou aux centrales électriques dotées d'agencements standardisés et de protocoles de sécurité communs, **les centrales à hydrogène manquent souvent d'une couche de sécurité unifiée**. Bon nombre de ces centrales sont issues de projets pilotes ou d'environnements prototypes négligeant les mesures de cybersécurité pendant la transition. L'absence de conceptions d'usines standardisées et d'une approche de sécurité cohérente rend ces centrales particulièrement vulnérables aux cybermenaces.

### Stratégie de cybersécurité industrielle

Pour protéger les centrales de production d'hydrogène des cybermenaces, il est essentiel de mettre en œuvre une stratégie à plusieurs niveaux de défense en profondeur. Ce concept, recommandé par la norme internationale IEC 62443, consiste à mettre en œuvre **plusieurs couches de protection** utilisant divers mécanismes pour protéger un réseau ou un système contre les attaques.

Un attaquant devrait alors surmonter plusieurs obstacles pour compromettre le système, ce qui réduit considérablement la probabilité d'une intrusion réussie et augmente la résilience. Cette approche est divisée en trois niveaux critiques, chacun adapté à des vulnérabilités et des risques spécifiques : la sécurité de l'usine, la sécurité du réseau et l'intégrité du système.



## CYBERSÉCURITÉ (2/2)



« Une cyberprotection efficace nécessite une approche globale et approfondie de la sécurité »

### Notions fondamentales sur la cybersécurité industrielle

1. La cybersécurité commence par la conformité aux normes internationales telles que [la norme IEC 62443](#). Ces directives recommandent une approche multicouche, comprenant la segmentation du réseau, la communication cryptée, l'authentification des utilisateurs et les contrôles d'accès basés sur les rôles. En garantissant que seuls les utilisateurs et les appareils autorisés peuvent interagir avec les systèmes critiques, les risques de cybersécurité peuvent être considérablement minimisés.
2. Une automation cybersécurisée nécessite l'utilisation de composants pré-sécurisés qui peuvent être soit des produits certifiés IEC 62443, soit des produits qualifiés ANSSI (produits validés par l'ANSSI pour une utilisation dans les infrastructures critiques).



### Approche multicouche intégrée de la cybersécurité

Pour protéger les installations industrielles contre les cyberattaques internes et externes, tous les niveaux doivent être protégés simultanément – du niveau de gestion de l'usine au niveau du terrain et du contrôle d'accès à la communication sécurisée des données.

Un système de cybersécurité ne peut pas être uniquement le résultat de l'assemblage de plusieurs produits protégés contre les cyberattaques. Une analyse et une configuration spécifiques de l'ensemble de la solution IT/OT sont nécessaires pour garantir une protection complète. La cybersécurité doit être considérée en multicouche comme le recommande la [norme IEC 62443](#) : sécurité de la centrale, sécurité du réseau et intégrité du système.

**Sécurité des installations :** Protection de l'accès physique des personnes aux composants critiques par le contrôle d'accès aux bâtiments et zones sensibles par cartes/clés. Ensuite l'état de sécurité des installations de production est surveillé et intègre des processus et bonnes pratiques.

**Sécurité du réseau :** La protection du réseau d'automation contre les accès non autorisés, notamment aux points de connexion à d'autres réseaux (bureau ou Internet). La segmentation du réseau offre une sécurité supplémentaire. Par exemple, un VPN sécurise l'accès à distance aux installations.

**Intégrité du système :** La sécurisation de l'intégrité du système consiste à protéger les systèmes d'automation et les contrôleurs tels que les automates, les systèmes SCADA et IHM contre les accès non autorisés ou à protéger le savoir-faire qu'ils contiennent. Elle comprend également l'authentification des utilisateurs et leurs droits d'accès ainsi que le renforcement au niveau système.

**Services de sécurité industrielle :** Les experts en automation, numérisation et cybersécurité fournissent des services d'évaluation de la cybersécurité industrielle, suivant une approche de bout en bout, commençant par l'évaluation de l'état de sécurité en passant par la mise en œuvre des mesures de sécurité jusqu'à la surveillance continue et la gestion de la sécurité.

## CONFORMITÉ EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ



« Assurer le meilleur niveau de sécurité sans retours d'expérience approfondis de l'industrie »

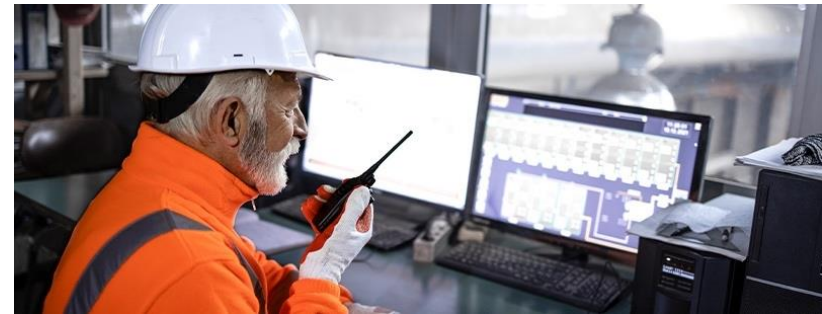
### Notions fondamentales sur la sécurité de l'hydrogène

L'industrie de l'hydrogène est jeune et la technologie est encore en développement. L'un des domaines en pleine croissance est l'exploitation efficace et sûre des électrolyseurs, piles à combustible et des équipements à haute pression.

- L'hydrogène n'est pas nouveau dans l'industrie pétrolière et gazière et il présente déjà un risque plus grand que d'autres molécules inflammables du fait de sa propension à l'explosion: limite d'explosivité plus basse, LCV plus élevé, plus inflammable, plus d'énergie libérée, incolore et inodore.
- Les procédés hydrogène existants (SMR, raffinage, ammoniac) se basent sur des technologies éprouvées par un large retour d'expérience. Les nouvelles applications hydrogène sont plus à risque du fait de leurs hautes pressions (stations de ravitaillement) de leur nouveauté technologique (électrolyseurs), et de leur compacité.
- Les acteurs historiques dans les gaz industriels ont des décennies d'expérience dans la manipulation de l'hydrogène, mais il existe de nombreux nouveaux acteurs dans l'hydrogène.

Pour équilibrer les promesses et les dangers de l'hydrogène il faut une compréhension globale et une mise en œuvre minutieuse de la sécurité par une surveillance réglementaire stricte et une culture de sécurité profondément ancrée.

Au niveau de l'usine, il est nécessaire d'adapter en continu les mesures de sécurité et la surveillance des équipements mais aussi la formation des personnels et des conditions environnementales.



### Accent accru sur les solutions de sécurité fonctionnelle SIL2/3

Contrairement aux installations SMR qui ne nécessitent pas de SIF de niveau SIL élevé ni de solveurs logiques SIS à réponse rapide, les nouvelles installations d'hydrogène nécessiteront une plus grande proportion de SIF SIL2/3. Une plus grande sensibilisation aux solutions SIL2/3 est primordiale pour éduquer les nouveaux acteurs dans le domaine de l'hydrogène.



## SOUTENABILITÉ (1/2)



« **Faciliter la traçabilité carbone et l'atteinte des objectifs de conformité** »

### Énoncé du problème

Les solutions numériques sont cruciales au suivi de traçabilité de l'hydrogène bas carbone tout au long de la chaîne de valeur. Elle fournit une preuve transparente des émissions carbonées de l'H<sub>2</sub> qui conditionnent l'accès aux subventions et aux marchés puis la conformité aux réglementations et des engagements clients.

- **Seuils d'intensité carbone** : Plutôt que de classer uniquement l'hydrogène en fonction de son mode de production par couleur, l'établissement de valeurs d'intensité carbone (certifiées de manière indépendante) nécessite une Analyse du cycle de vie (ACV. Dans l'UE comme aux États-Unis, des seuils de conformité définissent ce qui est considéré comme de l'hydrogène « propre » : 3,38 kgCO<sub>2</sub>eq/kgH<sub>2</sub> et 4,0 kgCO<sub>2</sub>eq/kgH<sub>2</sub> respectivement.
- **Directive européenne sur les carburants renouvelables d'origine non biologique (RFNBO)** : les spécificités de l'usine, telles que la conception, l'exploitation, l'intensité carbone des matières premières et du réseau électrique, déterminent l'intensité carbone réelle de l'hydrogène. Dans l'UE, l'H<sub>2</sub> peut être qualifié de RFNBO que si la source d'énergie (électricité) est conforme à trois critères : l'additionnalité, la corrélation temporelle et la corrélation géographique.
- **Mécanisme d'ajustement carbone aux frontières de l'UE (CBAM)** : pour les importateurs d'hydrogène, le CBAM de l'UE, qui sera mis en

œuvre à partir de janvier 2026, implique le calcul et la déclaration de l'intensité carbone de l'hydrogène importé à l'aide d'une méthodologie spécifiée par l'UE. Les importateurs devront s'enregistrer puis acheter des certificats CBAM sur la base du prix moyen hebdomadaire des enchères des quotas EU-ETS (€/tonne de CO<sub>2</sub> émise) puis déclarer les émissions intégrées et restituer les certificats correspondants chaque année.

### Gestion numérique de la durabilité

Pour parvenir à la traçabilité de l'hydrogène et de ses dérivés, il faut intégrer des données à haute fréquence provenant des logiciels de contrôle des processus, des outils d'ACV et des registres de contrats intelligents :

- **Les outils de contrôle des processus** exploitent les données industrielles pour fournir une visibilité sur les besoins énergétiques et les émissions associées en conditions de fonctionnement. Ces données détaillées servent également de base à l'ACV et à la certification
- **Les outils d'analyse du cycle de vie (ACV)** récupèrent les données à partir des historiques dans les logiciels de contrôle des procédés et des jumeaux numériques, puis calculent les émissions de GES associées à la production d'hydrogène, aux matières premières et aux services publics utilisés, à la distribution et à l'utilisation finale. Les bons outils d'ACV fournissent des intensités carbone pour toutes les normes pertinentes, pour permettre la certification indépendante de conformité réglementaire et pour l'utilisateur final
- **Registres de contrats intelligents** : La certification de chaque étape est documentée de manière sécurisée, garantissant ainsi la transparence et la responsabilité tout le long de la chaîne de valeur. Les contrats intelligents permettent alors d'automatiser les transactions et les contrôles de conformité, en vérifiant les critères de teneur en carbone de l'hydrogène avant son entrée sur le marché.

## SOUTENABILITÉ (2/2)

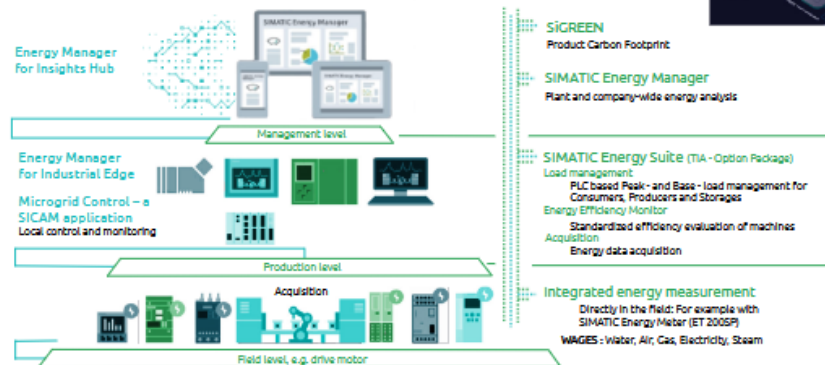


« Faciliter la traçabilité carbone et l'atteinte des objectifs de conformité »

### Solutions de gestion de l'empreinte carbone des produits (ECP)

Les solutions de gestion de l'empreinte carbone des produits consolident les données et calculent l'ECP reliant les entreprises à l'ensemble de leurs fournisseurs. En raison d'exigences réglementaires de plus en plus strictes, les entreprises industrielles sont confrontées au défi majeur de tracer sans problème l'ensemble de l'ECP. Cela ne peut être réalisé que via un échange continu de données tout au long de la chaîne de valeur ; cela nécessite des solutions numériques dans lesquelles tous les acteurs connectés peuvent avoir confiance.

Sustainability and Energy Efficiency from machine to company level  
SIMATIC Energy Management Portfolio



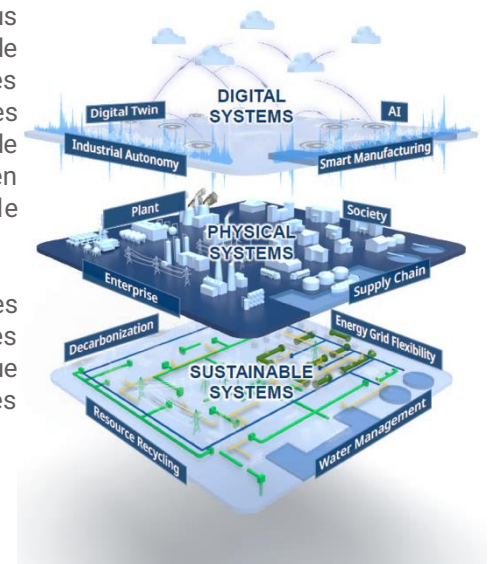
### Approche Système de Systèmes (SoS)

Face à la pression croissante des gouvernements et de la société pour accroître la soutenabilité, les entreprises collaborent via leurs systèmes numériques en vue d'atteindre des objectifs environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG) communs. Par exemple, la chaleur résiduelle d'une entreprise peut être récupérée pour être utilisée par une autre entreprise. Cela améliore la soutenabilité et la rentabilité globale.

Pour ce type de collaboration, les données d'exploitation des systèmes de chaque partie prenante doivent être connectées et intégrées de manière sécurisée et fluide. Cette approche SoS (Système de Systèmes) rend possible des synergies bénéfiques par exemple sur la mesure des émissions de CO2, le reporting et la conformité.

Ce concept de SoS deviendra plus important à mesure que le monde devra utiliser plusieurs sources d'énergie renouvelable et que des écosystèmes décarbonés à grande échelle devront être réalisés en collaborations élargies entre de nombreuses parties prenantes.

Dans ce sens, réaliser des connexions efficaces entre les systèmes d'automatisation numérique des différentes parties prenantes est un enjeu majeur.



## ENTREPRISES PROPOSANT DES SOLUTIONS

Ce Livre Blanc présente les enjeux et contraintes sur l'automatisation pour l'hydrogène.

→ Découvrez les solutions proposées par les **entreprises du GIMELEC** permettant d'y répondre : 8 de nos experts vous présentent leurs offres.

→ Cet annuaire vous permet également d'en savoir plus sur les entreprises du GIMELEC actives sur l'automatisation.

[Cliquez ici](#) Pour accéder à l'annuaire du GIMELEC.

**ABB**

**FESTO**

 **MITSUBISHI  
ELECTRIC**  
*Changes for the Better*

 **PHOENIX  
CONTACT**

**PILZ**  
THE SPIRIT OF SAFETY

**Schneider**  
Electric

**SIEMENS**

**Weidmüller** 

→ Pour les offreurs de solutions sur l'ensemble de la chaîne de valeur de l'hydrogène (production – stockage – transport – distribution – usages) : retrouvez en ligne le [Panorama des Solutions H<sub>2</sub>](#) proposé par France Hydrogène

→ Retrouvez également sur l'observatoire de l'hydrogène [Vig'hy](#), l'annuaire en ligne des **membres de France Hydrogène** : 450 acteurs de la filière française de l'hydrogène structurés sur l'ensemble de la chaîne de valeur : grands groupes industriels, PME-PMI, start-ups, laboratoires et centres de recherche, associations, pôles de compétitivité et collectivités territoriales.