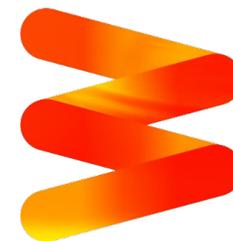


Guide des Solutions Hydrogène

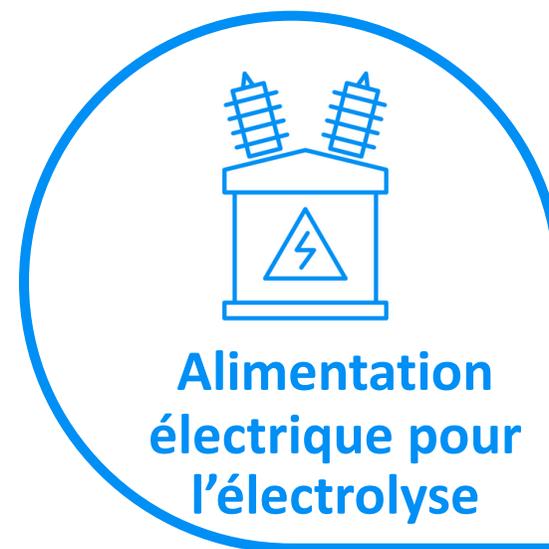
de la filière électronumérique



Une publication

GIMELEC

dans le cadre de son partenariat avec



Alimentation électrique pour l'électrolyse



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, H₂-to-Power...) en passant par son transport et son stockage. Leurs solutions permettent d'accompagner les développeurs de projet 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'alimentation électrique pour l'électrolyse ; 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'alimentation électrique pour l'électrolyse.



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.

Table des matières

PAGES

4	Options d’Alimentation Electrique
5-8	Les Enjeux de la Connexion au Réseau HT
9	Cycle de Vie d’un Projet
10	Conception / Optimisation
11-13	Conception / Pollution Harmonique
14-16	Achats / Matériel
17	Achats / Solutions Digitales
18	Installation / Intégration Technique
19	Maintenance
20	Entreprises Proposant des Solutions d’Alimentation Electrique



OPTIONS D'ALIMENTATION ELECTRIQUE

Focus France



Connexion au réseau moyenne tension (réseau HTA)

ENEDIS

Connexion OEM standard pour les petits projets H2.



Connexion au réseau haute tension (HTB)

Rte Le réseau de l'intelligence électrique

La connexion au réseau HT pour les projets H2 massifs nécessite de l'anticipation.

Focus mineur



Connexion électrique directe aux actifs renouvelables décentralisés

Très peu d'installations de ce type en France grâce à l'électricité peu carbonée du réseau. Des architectures hybrides sont possibles (voir p.11)



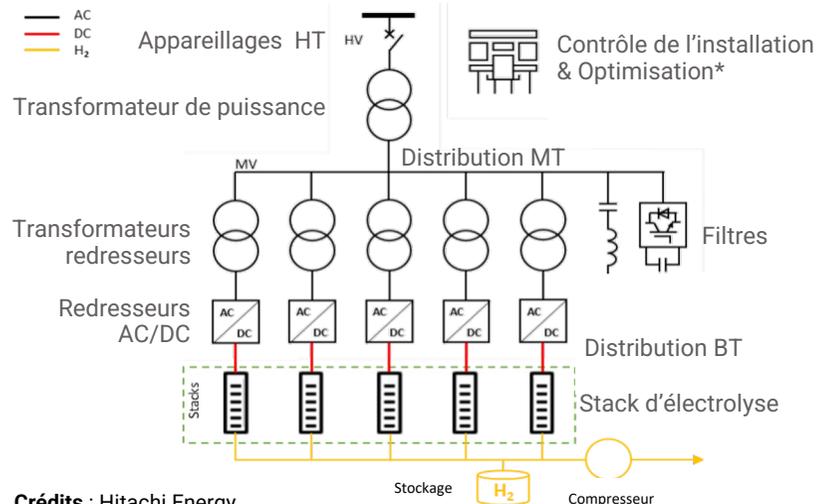
LES DÉFIS DE LA CONNEXION AU RÉSEAU HT



"Garantir un fonctionnement sûr et fiable de l'électrolyseur en conformité avec les codes réseaux existants et futurs"

Les électrolyseurs ont besoin d'une alimentation électrique pour fonctionner. Ils peuvent être directement connectés à une source d'énergie renouvelable (typiquement l'énergie éolienne) ou au réseau. Dans le cas d'une connexion au réseau, ils peuvent être connectés au réseau moyenne tension (HTA) pour une faible puissance, **mais avec l'augmentation de la charge des électrolyseurs, une connexion au réseau haute tension (HTB) est nécessaire**. La connexion au réseau HTB nécessite plusieurs composants pour fournir aux électrolyseurs la puissance DC appropriée et protéger la qualité du réseau.

Configuration de la connexion au réseau HT de l'électrolyseur



Crédits : Hitachi Energy

Nota : *) Voir section « Automatisation »

Défis de la connexion au réseau HT

La sous-station électrique assure **une conversion efficace de la puissance** pour alimenter les électrolyseurs tout en se connectant au réseau **en toute sécurité et en temps voulu**, dans le respect total des exigences du code du réseau (harmoniques, puissance réactive, etc.).

Les électrolyseurs sont des **charges électriques importantes qui génèrent de la pollution et déséquilibrent le réseau**. Les codes de réseau actuels ne rendent pas les développeurs de projets H2 responsables du nettoyage et de l'équilibrage du réseau électrique, mais les futurs codes de réseau exigeront qu'ils y contribuent au niveau des sous-stations. Ce problème de pollution et de déséquilibre du réseau est encore largement sous-estimé aujourd'hui et est crucial pour la croissance du secteur de l'hydrogène -> voir p. 11-13 les détails sur la pollution harmonique.

La sous-station électrique ne représente que 1 à 2 % des cas de défaillance dans les usines d'électrolyse de l'hydrogène, mais elle représente jusqu'à 25 % de toutes les pertes de production.

Une mauvaise conception peut générer des courants de retour dans les transformateurs, nécessitant dans le pire des cas le remplacement de l'ensemble de la sous-station, ou une fréquence de commutation inutilement élevée avec diverses conséquences telles que le remplacement prématuré des équipements, des pénalités, la déconnexion du réseau... La pollution harmonique, causée par des courants électriques déformés, peut avoir des effets néfastes sur les systèmes électriques : perte d'énergie, coûts d'abonnement plus élevés, surdimensionnement des équipements, réduction de la durée de vie, déclenchements intempestifs et arrêt de l'installation.

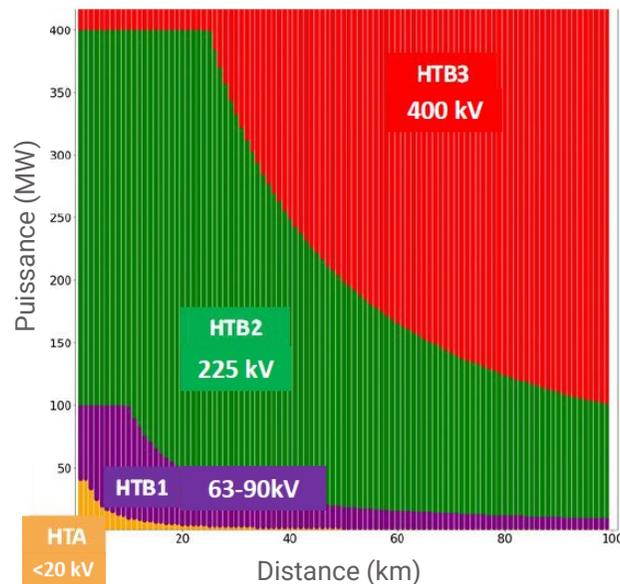
L'optimisation de l'ensemble du système d'alimentation électrique, depuis la connexion au réseau jusqu'à la pile d'électrolyseurs, nécessite **une approche intégrée et holistique, depuis les études de conception jusqu'à la mise en service sur le site**.



LES DÉFIS DE LA CONNEXION AU RÉSEAU HTB (France)

Définition du niveau de tension de raccordement

Tension de raccordement de référence en fonction de la **puissance de l'installation** et de sa **distance au poste de transformation le plus proche**



Un projet est raccordé sur le réseau public de transport si la puissance qu'il demande (Pracc) est supérieure à 40 MW ou 100/d, «d» étant la distance entre le projet et le poste de transformation vers le domaine de tension supérieur le plus proche.

Des seuils réglementaires ([Arrêté du 9 juin 2020](#)) fixent le niveau de tension de raccordement.

Sources : RTE

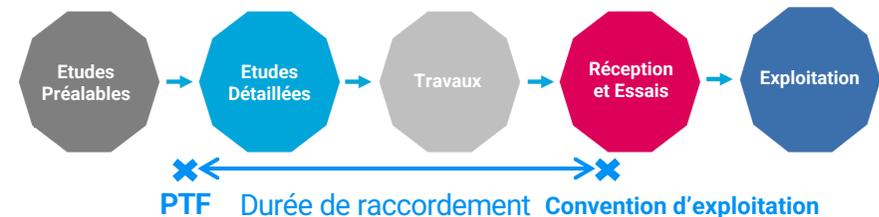
Durée d'un raccordement au réseau public de transport

La **Proposition Technique et Financière (PTF)** de RTE est une étape importante d'un projet hydrogène, souvent cruciale pour **valider la Décision Finale d'Investissement (FID)**.

La durée de raccordement est le délai entre l'acceptation de la PTF, la Réception et les Essais, et la convention d'exploitation.

Niveau de tension de raccordement	Ordre de grandeur des durées de raccordement
HTB1 (63 ou 90kV)	2 à 3 ans
HTB2 (225kV)	4 à 6 ans
HTB3 (400kV)	6 à 9 ans

Des délais qui ont tendance à s'allonger en raison de la saturation des réseaux et des tensions sur l'approvisionnement de certains matériels (transformateurs par exemple)

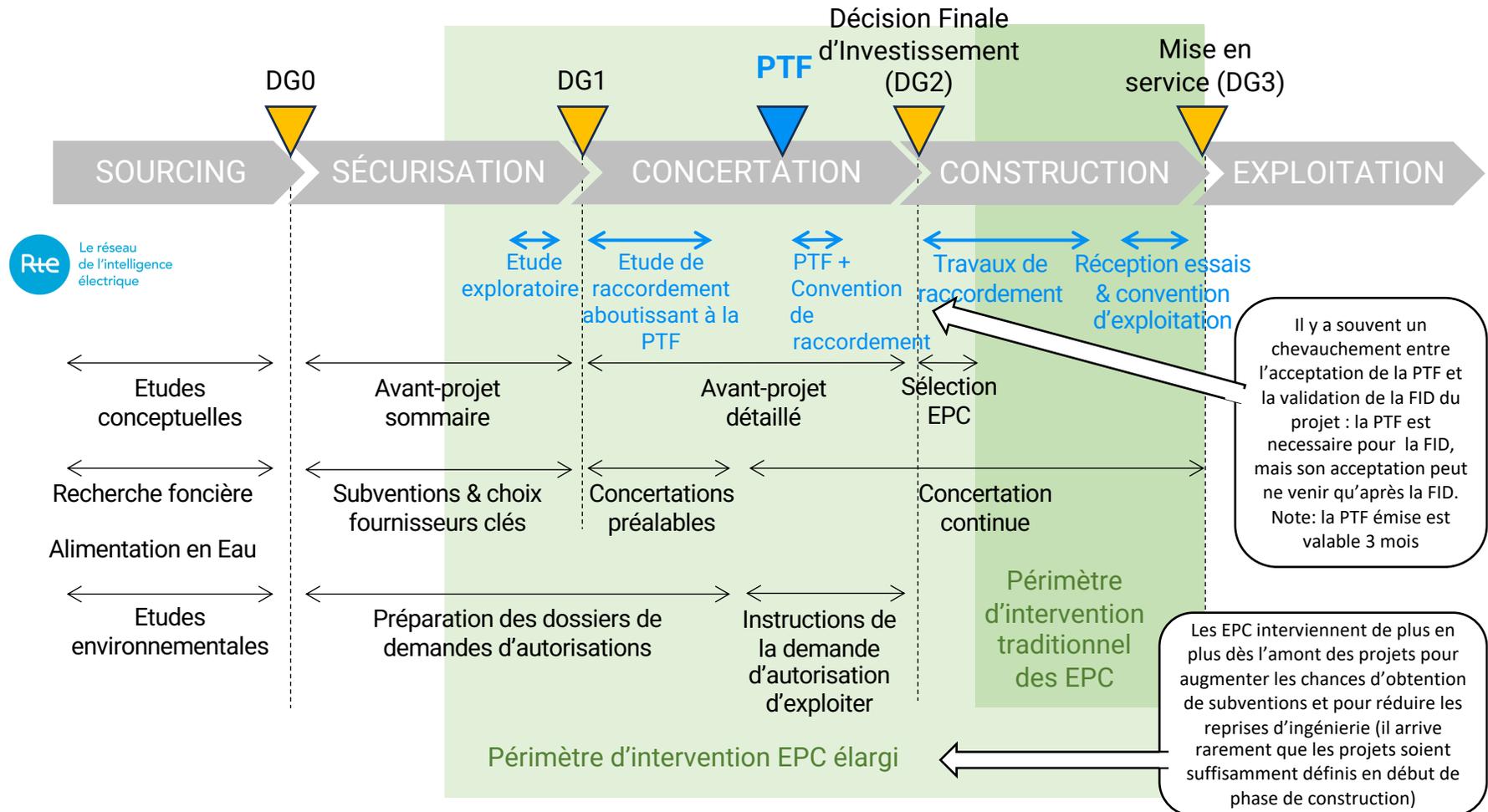


Le développeur de projet et RTE peuvent l'optimiser en travaillant en collaboration, **en anticipant les commandes d'équipements**.

RTE anticipe également le **développement d'infrastructures de connexion mutualisées dans certaines zones industrielles et portuaires** (comme Dunkerque, le Havre, et Fos-sur-Mer) pour accueillir plusieurs projets et réduire les durées de raccordement.

LES DÉFIS DE LA CONNEXION AU RÉSEAU HTB (France)

Étapes de développement d'un projet hydrogène : Périmètre d'intervention EPC & jalons de raccordement au réseau



Note : DG = Jalon de développement (Development Gate)



LES DÉFIS DE LA CONNEXION AU RÉSEAU HTB (France)

Principales étapes de raccordement [\(lien vers le détail\)](#)



- **Etude exploratoire** : a pour objectif de fournir une estimation rapide de la faisabilité du projet ainsi qu'un ordre de grandeur du coût et du délai de réalisation ; elle n'est pas un préalable à la demande de raccordement et n'engage aucune des parties.
- **Proposition technique et financière (PTF)** : a pour objectif d'établir les conditions du raccordement ; elle présente la solution retenue, la consistance des travaux à réaliser, le détail des coûts et des délais.
- **Convention de raccordement** : précise les modalités techniques, juridiques et financières du raccordement. Elle lance la phase de réalisation et garantit ainsi le financement des commandes de matériels et des travaux.
- **Contrat d'accès au réseau** : définit les engagements en matière de comptage, de puissance souscrite, d'interruptions programmées d'accès au réseau ; précise également les conditions de responsabilités, de tarification et de facturation.
- **Convention d'exploitation et de conduite** : définit les responsabilités de chaque acteur ainsi que les règles d'exploitation et de conduite pour garantir la sécurité des biens et des personnes.

Sources : RTE

Nota : *) Low Voltage Ride Through (LVRT) : alimentation continue lorsque la tension du réseau est anormalement basse

Documentation technique de référence

L'ensemble des exigences que tout consommateur électrique raccordé au réseau HTB de RTE doit observer au moment du raccordement sont détaillées dans la documentation technique de référence dont la version en cours de validité (2024) est consultable sur le lien suivant :



<https://www.services-rte.com/fr/la-bibliotheque.html>

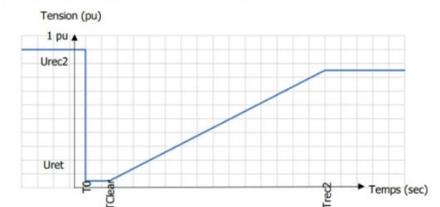
Cette publication dépend d'exigences techniques définies à la maille nationale et européenne, en collaboration avec l'ENTSO-E car les codes réseaux sont en train d'évoluer au niveau Européen. L'ACER (Agence de coopération des régulateurs de l'énergie) a publié un certain nombre de propositions qui sont en cours de validation ([lien](#)).

Tous les projets hydrogène d'une puissance supérieure à 40MW sont concerné par ces exigences et devront par conséquent anticiper la durée de mise en raccordement.

Enjeux posés par les Grid Codes

Le Guide GIMELEC se concentre actuellement sur la pollution harmonique, mais d'autres défis deviendront importants dans les années à venir, par exemple le LVRT* et la capacité de court-circuit. Les spécifications sont déjà plus strictes en Allemagne, en Espagne et aux Pays-Bas

-> Mise-à-jour du guide à venir



Creux de tension

CYCLE DE VIE D'UN PROJET

CONCEPTION

ACHATS

INSTALLATION

EXPLOITATION

p. 10-13

p. 14-17

p. 18

p. 19

• **OPTIMISATION :**

- Augmenter les performances du système tout en minimisant l'investissement global et l'encombrement

• **POLLUTION HARMONIQUE :**

- Sélectionner une technologie d'électronique de puissance pour assurer la conformité au code du réseau tout en optimisant l'investissement
- Optimisation de l'implantation électrique en fonction des exigences du réseau et des contraintes opérationnelles
- Limiter les impacts négatifs de la pollution harmonique

• **MATERIEL :**

- Choisir l'ensemble adéquat de produits, de systèmes et/ou de services

• **SOLUTIONS DIGITALES :**

- Mettre en œuvre une stratégie de pilotage optimisée

• **PRODUITS & SERVICES :**

- Choisir le package de produits et services adapté aux caractéristiques du projet, aux compétences et aux contraintes de la maîtrise d'ouvrage

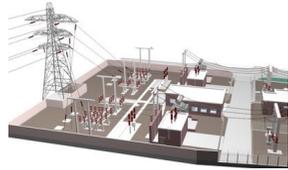
• **INTEGRATION TECHNIQUE**

- Identifier le plus pertinent modèle d'affaires pour le projet

• **SERVICES DE MAINTENANCE :**

- Maximiser la disponibilité, optimiser les performances globales et prévenir les défaillances coûteuses

CONCEPTION / OPTIMISATION



"Augmenter les performances du système tout en minimisant l'investissement global et l'encombrement"

Études de faisabilité et optimisation de l'efficacité

L'achat d'unités de convertisseurs de puissance auprès d'équipementiers d'électrolyseurs aboutit souvent à la sélection d'une électronique de puissance non adaptée, ce qui entraîne des contraintes de conformité au code de réseau potentiellement insolubles pour les équipements de connexion au réseau AC achetés séparément (filtres passifs ou actifs).

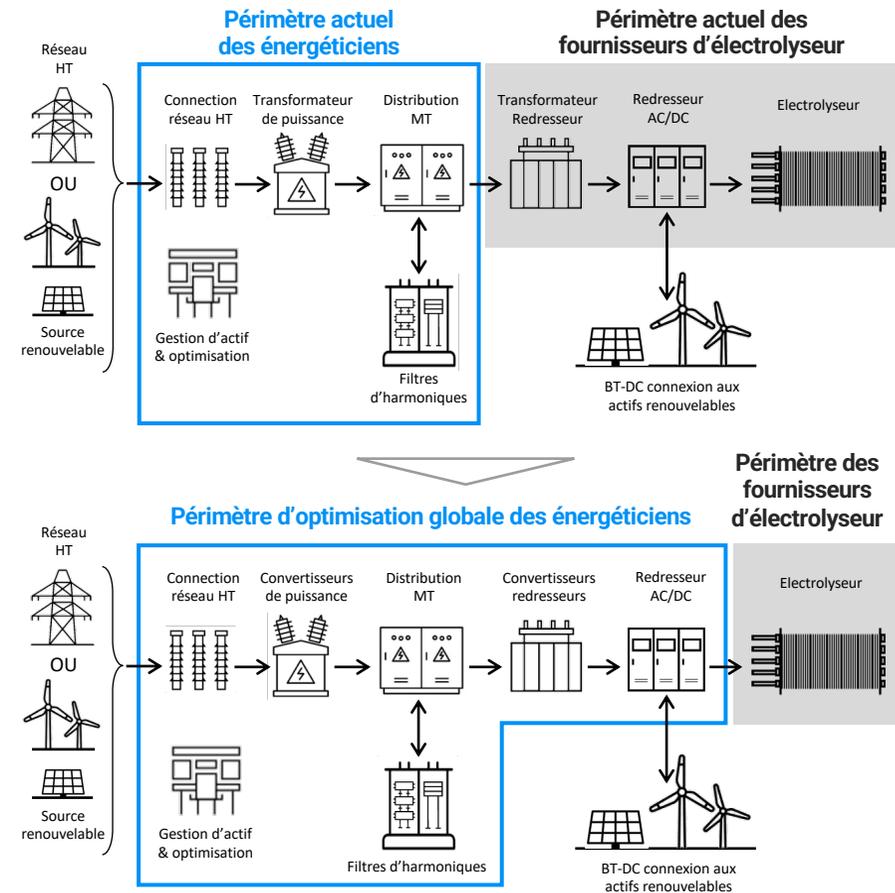
L'optimisation de l'ensemble du système d'alimentation électrique, de la connexion au réseau jusqu'aux stacks présente plusieurs avantages

- réduction des risques liés à la conformité des installations au code du réseau et à la fluctuation de l'alimentation en énergie renouvelable
- augmentation des performances globales du système

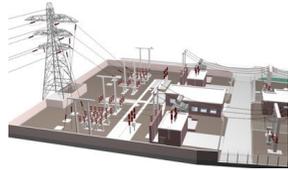
Mais l'optimisation de l'ensemble du système d'alimentation électrique nécessite des compétences spécifiques et plaide en faveur d'un **changement de périmètre des fournisseurs actuels.**

Dans cette nouvelle perspective, les entreprises du secteur de l'énergie doivent concevoir l'ensemble de l'alimentation électrique, en **sélectionnant la technologie de matériels et la configuration de conception optimaux.** Ce n'est qu'ainsi que le système d'alimentation peut être optimisé, ce qui permet de **sécuriser l'investissement global.**

Extension du champ d'application d'un énergéticien pour des électrolyseurs de grande puissance



CONCEPTION / POLLUTION HARMONIQUE (1/3)



"Sélectionner une technologie d'électronique de puissance pour assurer la conformité au code réseau tout en optimisant l'investissement"

Les différentes sources de pollutions harmoniques

Dans le cadre d'une exploitation normale ou défectueuse de l'installation, la technologie du redresseur, les temps d'arrêt du stack, les stratégies de charge variable/p partielle ou le délestage sont autant de causes de déséquilibre entre les différentes phases, générant ainsi des harmoniques (c'est-à-dire des multiples de 50 Hz) dans le courant (distorsion harmonique totale du courant, ou THDi) et la tension (THDv) qui ont ensuite un impact sur le réseau et la qualité de la tension. Le THDv est très étroitement surveillé par les GRT, qui imposent une valeur maximale de THDv aux installations.

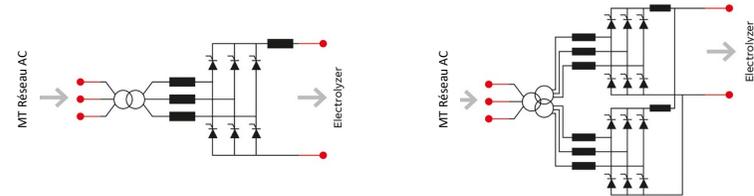
Généralement on distingue deux sources de pollution harmonique :

1. Le redresseur : Deux technologies de redressement sont en concurrence : les thyristors (contrôle du temps d'ouverture) et les IGBT / AFE ("Active Front-End" aussi appelé "IGBT supply").

Les redresseurs à thyristors sont disponibles en configuration 6 impulsions, 12 impulsions, 18 impulsions ou 24 impulsions. Plus il y a d'impulsions, moins il y a d'harmoniques, mais le nombre d'enroulements secondaires augmente proportionnellement du côté du transformateur : 6 impulsions → 2 modules en parallèle, 18 impulsions → 3 modules en parallèle, 24 impulsions → 4 modules en parallèle. Lorsque plusieurs modules sont raccordés en aval sur la même alimentation, il n'est pas possible de contrôler chaque module de manière totalement indépendante.

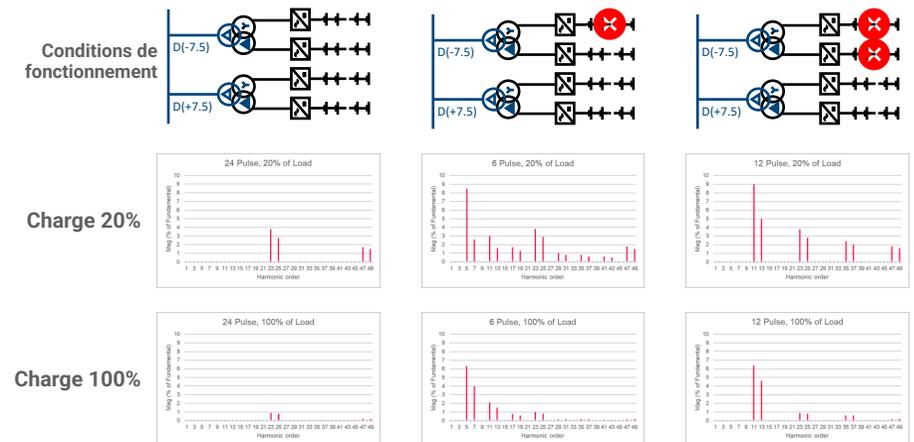
Source : Hitachi Energy, ABB

Exemple : configurations de redressement à thyristor à un étage, à 6 et 12 impulsions

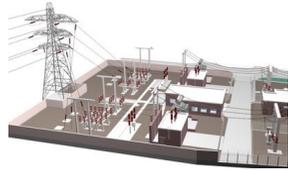


Les AFE/IGBT sont des composants de puissance plus dynamiques qui créent moins de distorsion harmonique dans le courant, mais ils sont plus coûteux à l'achat que les solutions à base de thyristors. L'utilisation des AFE/IGBT permet d'obtenir des THDi inférieurs à 5 %, voire à 3 % dans les meilleurs cas.

2. Le déséquilibre des modules : lorsque plusieurs modules sont connectés en parallèle à la même alimentation, les profils d'harmoniques varient selon que tous les stacks sont opérationnels ou que certains sont arrêtés, que le système fonctionne à charge partielle ou à pleine charge etc.



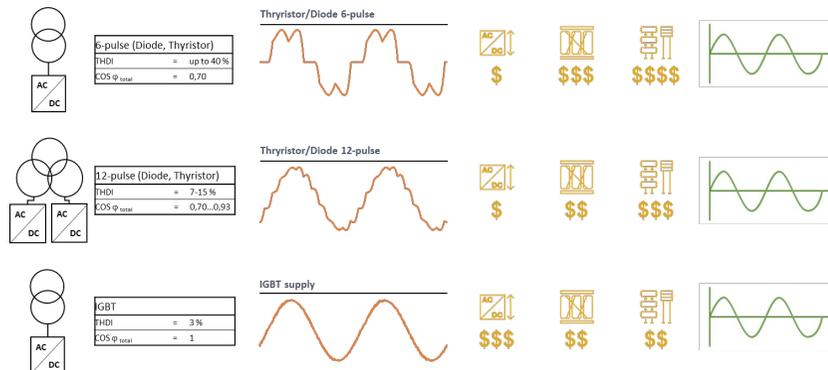
CONCEPTION / POLLUTION HARMONIQUE (2/3)



"Optimiser l'implantation électrique en fonction des exigences du réseau et des contraintes opérationnelles"

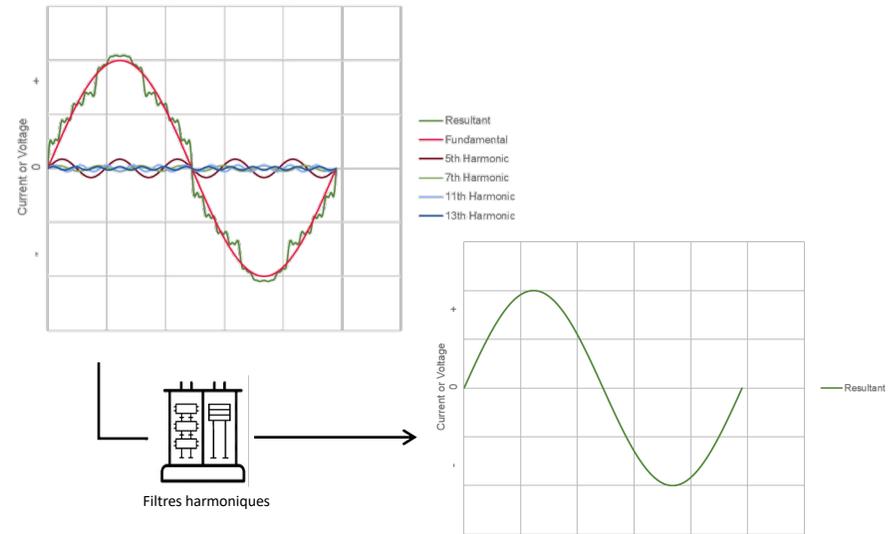
Redresseurs AFE/IGBT vs. filtres harmoniques

Pour atténuer la pollution harmonique, il est possible d'utiliser des redresseurs à faible taux d'harmonique (AFE/IGBT) ou des filtres à harmoniques. **Il n'existe pas de règle générale** quant au système le plus indiqué. Il s'agit d'une **analyse au cas par cas** : les redresseurs à thyristors sont beaucoup moins chers mais nécessitent l'ajout de filtres, tandis que les redresseurs à IGBT génèrent nativement très peu d'harmoniques mais sont généralement 30 à 40 % plus coûteux que les thyristors en termes de CAPEX. **Seule une analyse électrique approfondie peut déterminer la meilleure disposition électrique.** La figure ci-dessous présente les principaux compromis en matière de conception :



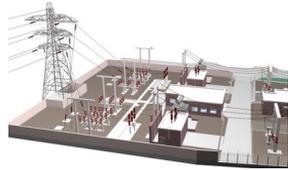
Source : Hitachi Energy

Des filtres bien conçus ajustent la forme d'onde, améliorant ainsi la qualité de l'alimentation électrique, éliminant les déclenchements intempestifs et réduisant les contraintes sur les systèmes électriques. Ils contribuent à maintenir la longévité des équipements et à éviter des interruptions coûteuses.



Une attention particulière doit être accordée aux configurations dans lesquelles l'hydrogène est produit à partir d'énergies renouvelables. Les fluctuations inhérentes à ces sources d'énergie exigeront également de nouvelles configurations électriques. Les méthodes de contrôle, associées à de nouveaux matériaux semi-conducteurs tels que le carbure de silicium et à de nouveaux convertisseurs de puissance peuvent déboucher sur des solutions compatibles à la fois avec le réseau et avec l'électrolyseur, tout en réduisant la complexité.

CONCEPTION / POLLUTION HARMONIQUE (3/3)



« Limiter les impacts négatifs de la pollution harmonique »

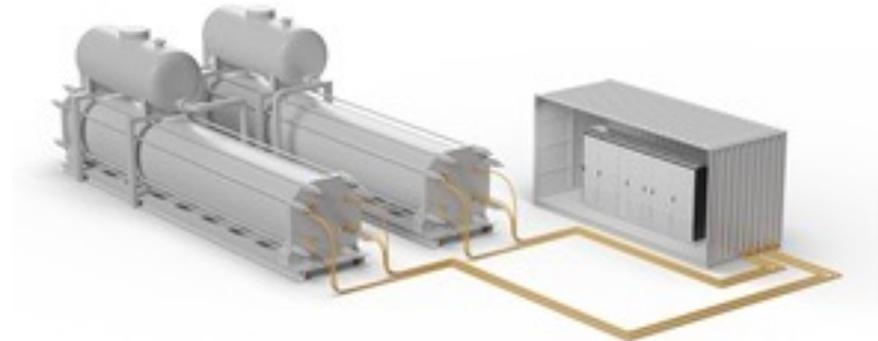
Impacts négatifs de la pollution harmonique

La pollution harmonique, causée par des courants électriques déformés, peut avoir des effets néfastes sur les systèmes électriques.

Lorsque la conception des filtres à harmoniques et des équipements de qualité de l'énergie laisse à désirer, plusieurs risques apparaissent :

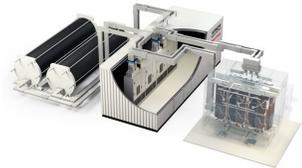
- **Pollution du réseau** : Pour l'instant, le code des réseaux français impacte plus les producteurs que les consommateurs. L'approche actuelle "polluer et nettoyer" montre ses limites car les filtres passifs provoquent des instabilités sur le réseau. Avec la prolifération des grandes installations d'électrolyse, les GRT préfèrent nettement qu'il n'y ait pas de pollution. Ainsi, de nouvelles exigences peuvent être demandées pour les nouvelles installations, et les usines de production d'hydrogène devront probablement participer à la stabilisation du réseau. Dans cette perspective, la technologie AFE/IGBT fournira des services de soutien au réseau en modifiant la tension-fréquence, ce que les solutions basées sur les thyristors ne peuvent pas faire.
- **Pertes d'énergie** : Les harmoniques provoquent des pertes supplémentaires (effet Joule) dans les conducteurs et les équipements.
- **Coûts d'abonnement plus élevés** : La présence de courants harmoniques peut nécessiter un niveau de puissance souscrite plus élevé, ce qui entraîne une augmentation des coûts. Les services publics peuvent également facturer les clients pour les principales sources d'harmoniques.

- **Surdimensionnement** : Le déclassement des sources d'énergie (générateurs, transformateurs et UPS) nécessite un surdimensionnement. Les conducteurs doivent également tenir compte des courants harmoniques, et l'effet de peau augmente la résistance du conducteur avec la fréquence.
- **Durée de vie réduite** : La durée de vie des équipements diminue considérablement avec l'augmentation de la distorsion harmonique totale (THD). Par exemple, des harmoniques plus élevées peuvent provoquer des points chauds dans les transformateurs, ce qui accélère le vieillissement de l'isolation.
- **Déclenchement intempestif et arrêt de l'installation** : Les disjoncteurs subissent des pics de courant dus aux harmoniques. Les déclenchements intempestifs perturbent les opérations, entraînant des pertes de production et des coûts supplémentaires pour redémarrer l'installation.
- **Perturbations du réseau local** : Le problème de la pollution harmonique ne concerne pas seulement le réseau, mais aussi d'autres installations connectées sur le même site. Les consommateurs d'hydrogène disposant d'électrolyseurs sur site peuvent auto-polluer leur réseau électrique local et générer des pannes ailleurs dans leur usine, par exee.





ACHATS / MATÉRIEL (1/3)

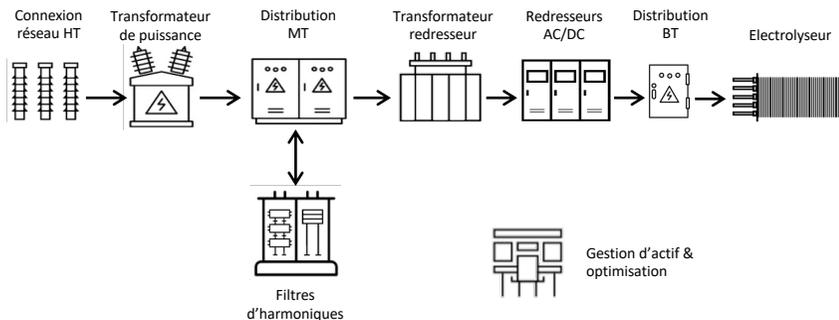


"Choisir l'ensemble adéquat de produits, de systèmes et/ou de services"

Principaux ensembles d'équipements électriques

Lors de l'acquisition d'un système d'alimentation électrique, il y a cinq principaux ensembles d'équipements à prendre en considération : les appareillages / équipements HT, les transformateurs de puissance, les redresseurs et les filtres.

Par souci de simplicité, les autres équipements auxiliaires (distribution électrique, jeu de barres AC et DC, etc.) ne sont pas détaillés ici.



Le règlement UE 2024/573 F-Gas Regulation interdit les gaz à effet de serre fluorés (F-gases) et les Substances Appauvrissant la Couche d'Ozone (SACO)

Domaine de tension	Date d'interdiction pour les Nouvelles installations
Ur ≤ 24 kV	2026
24 kV < Ur ≤ 52 kV	2030
52 kV < Ur ≤ 145 kV & I _{sc} ≤ 50 kA	2028
Ur > 145 kV & I _{sc} > 50 kA	2032

Les Postes Electriques sous Enveloppe Métallique (PSEM / GIS en anglais) utilisent une quantité significative de SF6 et hébergent des disjoncteurs à SF6, jeux de barre et équipements de contrôle.

Les autres matériels pouvant utiliser du SF6 en plus petite quantité (principalement pour l'isolation) sont les sectionneurs et les disjoncteurs.

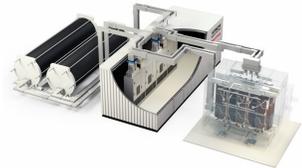
Dérogations possibles selon le nombre de solutions disponibles sur le marché et le gaz utilisé

Nombre d'années après l'interdiction	1	2	3	4
SF6 autorisé	Aucun fournisseur avec un GWP <1000			
GWP <1000 autorisé	Aucun ou seulement 1 fournisseur sans gaz fluorés		Aucun fournisseur sans gaz fluorés	
Sans gaz fluorés	OK			

À partir du 1er janvier 2035, l'utilisation du SF6 pour la maintenance ou l'entretien des équipements d'appareillages électriques est interdite, sauf s'il est prouvé que le SF6 est réutilisé ou recyclé.



ACHATS / MATÉRIEL (2/3)



"Choisir l'ensemble adéquat de produits, de systèmes et/ou de services"

Principaux ensembles d'équipements électriques

Lors de l'acquisition d'un système d'alimentation électrique, il y a cinq principaux ensembles d'équipements à prendre en considération : les appareillages / équipements HT, les transformateurs de puissance, les redresseurs et les filtres.

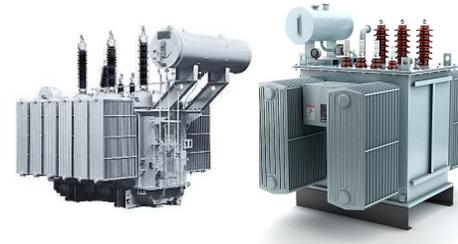
Par souci de simplicité, les autres équipements auxiliaires (distribution électrique, jeu de barres AC et DC, etc.) ne sont pas détaillés ici.

Appareillages / Equipements HT



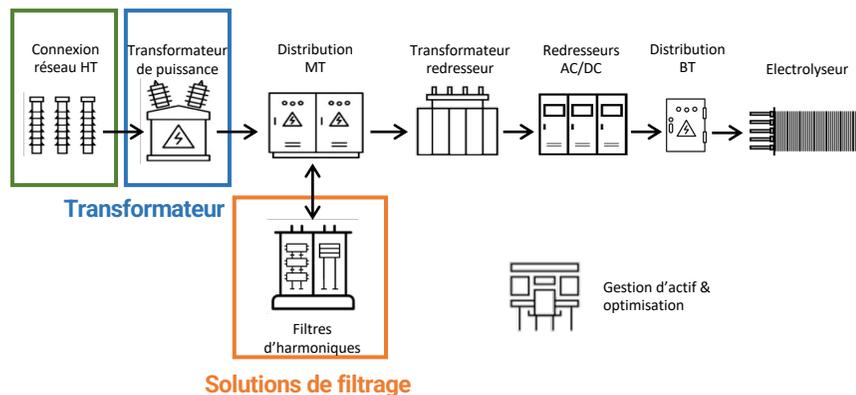
- AIS / GIS / Hybride
- Live Tank Breaker LTA
- Disconnecting Circuit-breaker (DCB) LTA

Transformateurs de puissance



- 24-132 kV
- 132-220 kV
- 220-400 kV

Appareillages / Equipements HT

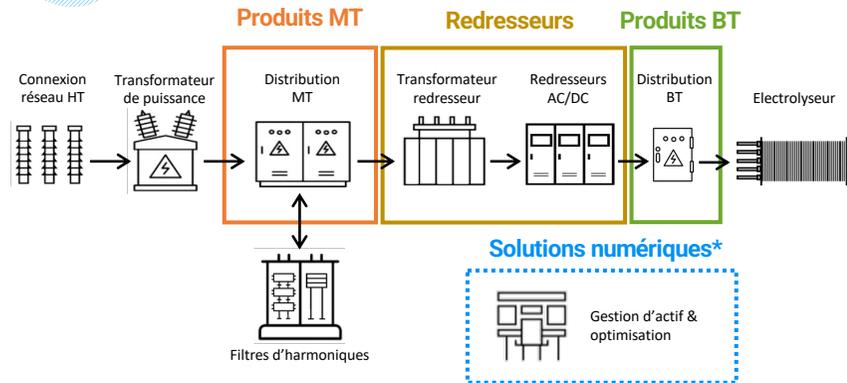


Solutions de filtrage



- Filtre passif : batteries de condensateurs, filtres harmoniques, réactance à shunt
- Filtre actif : Static Var Compensation, STATCOM

ACHATS / MATÉRIEL (3/3)



Rectifiers



- Transformateurs Redresseurs (6-36 kV)
- AC/DC Redresseurs (<1500V): Diode, Thyristor, IGBT, SiC

Produits Moyenne tension



- Distribution Primaire
- Distribution Secondaire
- AIS / GIS
- Jeu de barres
- Disjoncteurs
- Etc.

Produits basse tension



- Jeu de barres
- Disjoncteurs
- Compteurs
- Etc.

Protection & Contrôle



- Relais de Protection
- Capteurs
- Protection d'arc
- Systèmes d'automatisation

Solutions numériques*

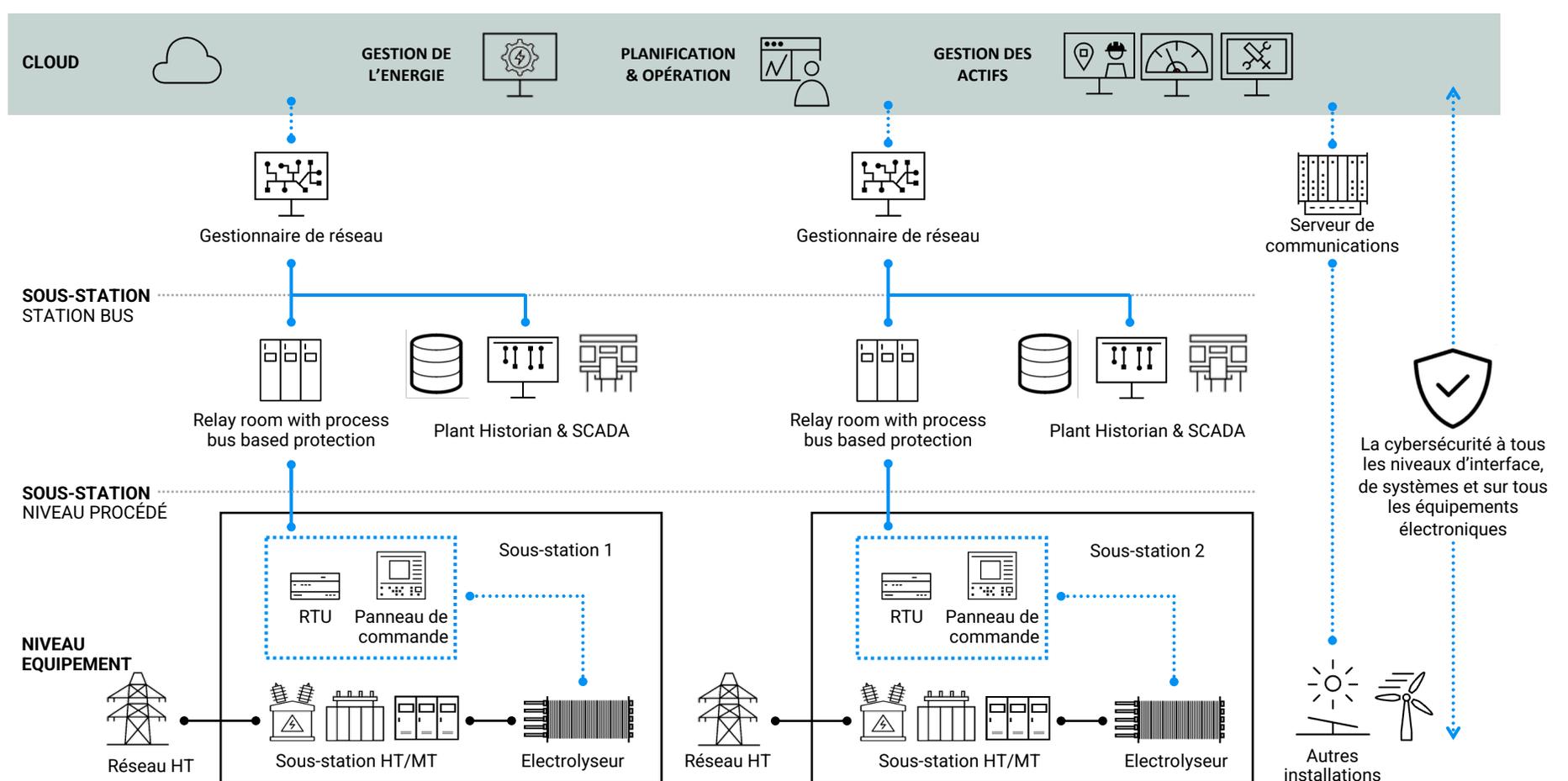


- RTU & Panneaux de contrôle
- Historien / SCADA
- Réseaux et serveurs
- Logiciel de gestion des actifs, Système de gestion de l'énergie ...

Nota : *) Voir section « Automation » du Guide GIMELEC

ACHATS / SOLUTIONS DIGITALES

Pilotage de haut niveau de l'ensemble de l'usine H2 (sous-station électrique + stack + auxiliaires)





INSTALLATION / INTEGRATION TECHNIQUE



Produits isolés & lots



Ex : Tableau de distribution MT
+ offre de maintenance

- **Produits isolés** : vente d'un seul équipement et/ou d'un seul service
- **Offres groupées de produits et de services** : groupe simple de produits ou de services sur un seul bon de commande sans gestion de projet supplémentaire, ingénierie d'intégration ou coordination technique ou commerciale croisée.
- L'intégration technique est réalisée soit en interne par le client, soit par un tiers électricien.

Assemblage & systèmes



Ex : Transformateur + appareillages intégrant l'ingénierie associées

- **Ensemble électrique** : intégration harmonieuse de plusieurs éléments de produits (ingénierie d'interface et coordination logistique)
- **Système** : Sous-usine ou système de l'usine dont la conception ou les performances relèvent de la responsabilité ingénierique
- L'exécution du projet dans le cadre d'un accord commercial unique, avec une gestion de projet commune assurant la coordination et l'ingénierie d'interface entre les produits, permet d'accélérer le délai de mise sous tension du projet et de réduire le coût total du projet.

Services & solutions clés en main



Ex : Services d'installation et de mise en service ou sous-station clé en main

- **Solution clé en main** : solution conçue, développée et fournie par un seul prestataire, offrant à l'utilisateur final un produit ou un service complet et prêt à l'emploi
- Point de contact unique pour exécuter l'ensemble du projet et coordonner le service et la mise en service
- Transfert du risque du client au prestataire pour la coordination de l'interface de conception de tous les éléments de l'ensemble pour former une solution de produit unique



MAINTENANCE



"Maximiser la disponibilité, optimiser les performances globales et prévenir les défaillances coûteuses".

Principales stratégies de maintenance

La maintenance des sous-stations est un processus d'inspection périodique et planifiée et, si nécessaire, de réparation et de remplacement des appareillages de connexion, bâtiments et équipements auxiliaires. Elle consiste en l'inspection physique des équipements, le nettoyage, la lubrification, le réajustement des connexions, les tests, les modifications, les ajustements et le remplacement des pièces, afin de maintenir toute la sous-station électrique en bon état de fonctionnement.

Quatre stratégies de maintenance principales sont possibles pour prolonger la durée de vie des actifs de valeur :

Stratégie de maintenance basée sur le temps : Le programme de maintenance est périodique, conformément au programme de maintenance générique du fabricant, et comprend la fourniture de pièces de rechange, de consommables et de remplacements au cours de la durée de vie.

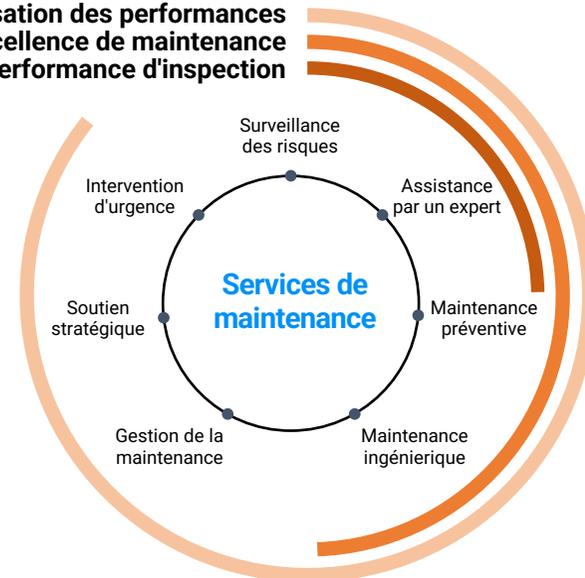
Stratégie de maintenance basée sur l'importance : Le programme de maintenance est basé sur l'importance de l'équipement (l'importance est calculée sur la base de l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets) avec une analyse détaillée de modélisation des risques effectuée au préalable.

Stratégie de maintenance basée sur l'état : Le programme de maintenance est conçu en fonction de l'état de l'équipement (nécessite une évaluation détaillée de l'état de l'équipement installé).

Stratégie de maintenance centrée sur la fiabilité : La stratégie de maintenance centrée sur la fiabilité est basée sur l'optimisation des investissements de maintenance en limitant l'exécution de tâches inutiles tout en se concentrant sur les composants de la sous-station qui présentent un risque plus élevé. Cette évaluation comprend une analyse des modes de défaillance et de leurs effets afin de déterminer la meilleure stratégie de maintenance pour maintenir la fiabilité.

Vue d'ensemble des services de maintenance

Optimisation des performances
Excellence de maintenance
Performance d'inspection



ENTREPRISES PROPOSANT DES SOLUTIONS

Ce Livre Blanc présente les enjeux et contraintes pour l'alimentation électrique des électrolyseurs.

→ Découvrez les solutions proposées par les entreprises du GIMELEC permettant d'y répondre : 13 de nos experts vous présentent leurs offres, depuis les **produits isolés et lots**, les **assemblages et systèmes**, jusqu'aux **services et solutions clé en main**.

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

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

<p>Appareillages / Equipements HT</p> <p>GE VERNOVA</p> <p>HITACHI Inspire the Next</p> <p>SIEMENS energy</p> <p>Haute Tension</p> <p>Transformateurs</p> <p>celduc transfo GE VERNOVA</p> <p>HITACHI Inspire the Next SIEMENS energy</p> <p>PAGES 15-18</p>	<p>Protection, Protection, Contrôle et Supervision</p> <p>ABB GE VERNOVA</p> <p>Schneider Electric SIEMENS</p> <p>PAGES 19-20</p>	<p>Qualité de l'Energie et Filtres Harmoniques</p> <p>Danfoss GE VERNOVA</p> <p>HITACHI Inspire the Next KEB</p> <p>Schneider Electric SIEMENS</p> <p>SIEMENS energy</p> <p>PAGES 21-24</p>	
<p>Redresseurs</p> <p>Transformateurs</p> <p>celduc transfo HITACHI Inspire the Next</p> <p>Schneider Electric SIEMENS energy</p>	<p>Redresseur</p> <p>ABB AEG POWER SOLUTIONS</p> <p>comeca Danfoss</p> <p>GE VERNOVA KEB</p> <p>PAGES 25-29</p>	<p>Distribution MT</p> <p>ABB</p> <p>Schneider Electric</p> <p>SIEMENS</p> <p>PAGES 30-31</p>	<p>Distribution BT</p> <p>ABB Aventech connecting energies</p> <p>comeca MARECHAL ELECTRIC MARECHAL TECHNOLOGY BELTRIC</p> <p>Schneider Electric SIEMENS</p> <p>PAGES 32-34</p>

→ 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 H₂](#) 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.