

## Modes de fonctionnement de l'ASI : un nouvel algorithme pour un rendement sans précédent



### Extrait

La technologie d'ASI standard la plus largement considérée comme la solution idéale pour de grandes installations est la double conversion et ses variantes.

En mode double conversion, l'ASI offre une isolation contre les problèmes de qualité de l'alimentation. Elle permet le contrôle de la tension et de la fréquence de sortie, quelles que soient les conditions d'entrée de la fréquence et de la tension. Mais nous devons nous poser la question de savoir si la double conversion est la seule solution possible pour résoudre ces types de perturbations ?

Bien que la technologie de double conversion ait prouvé sa fiabilité dans la protection des installations contre presque tous les types de perturbation, elle a un inconvénient majeur – le rendement. En fournissant un tel niveau de protection, l'ASI à double conversion fonctionne constamment en mode de protection maximale, ce qui entraîne l'utilisation d'une grande quantité d'énergie supplémentaire.

Existe-t-il donc une solution plus rentable permettant de protéger les installations critiques ?

La solution idéale serait une ASI capable de différencier les divers types de perturbations électriques et de réagir en utilisant le mode de fonctionnement le plus rentable et le plus efficace pour compenser chaque perturbation. Chloride a trouvé la solution en développant le révolutionnaire **Trinergy**.

### 1. Introduction

Dans les grandes installations électriques critiques, comme les data-centers, l'utilisation d'une ASI double conversion a toujours été considérée comme le meilleur choix pour fournir aux charges un haut niveau de protection contre la quasi totalité des perturbations affectant le réseau électrique.

L'utilisation d'une ASI à double conversion continue à être la solution qui s'impose pour protéger contre les conditions d'alimentation électrique spécifiques.

Avec le temps, la numérisation des signaux (DSP) et la technologie de commande vectorielle développée et brevetée par Chloride ont permis l'introduction de solutions spécifiques à rendement plus élevé. L'une de ces solutions est la double conversion intelligente (ou mode DIM : Digital Interactive Mode), commercialisée sur le marché des ASI par

Chloride en 1998. La double conversion intelligente a été mise au point pour examiner en continu l'alimentation du réseau et identifier à quel moment elle peut alimenter la charge directement à travers la ligne by-pass. Cette technologie est désormais largement utilisée dans les produits triphasés de Chloride, allant de 10 kVA à 800 kVA.

Alors que la double conversion intelligente permet une réduction significative de la perte d'énergie de l'ASI, dans certains cas les conditions de la ligne sont insuffisantes pour permettre au système de fonctionner régulièrement en mode à haut rendement. Cela peut être dû à la fois à des perturbations sur le réseau et/ou aux caractéristiques de la charge (particulièrement à la distorsion et au déplacement du courant). Cela oblige parfois l'ASI à fonctionner en permanence en mode de protection maximale à double conversion.

## Modes de fonctionnement de l'ASI : un nouvel algorithme pour un rendement sans précédent

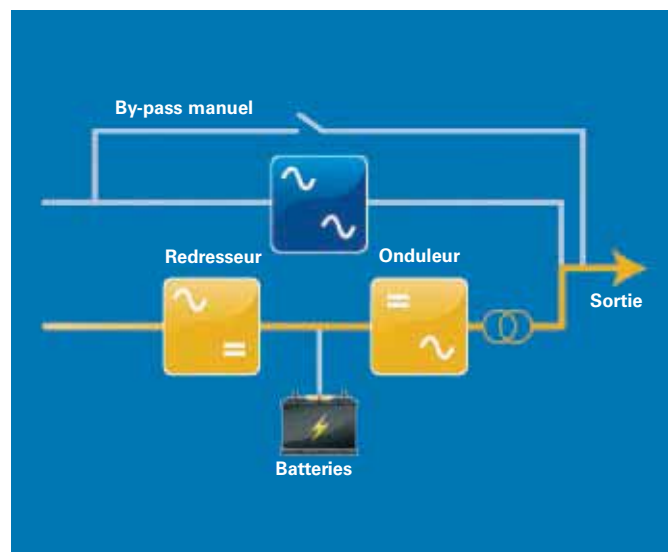


Figure 1 - schéma unifilaire typique d'une ASI à double conversion (VFI) avec transformateur de sortie

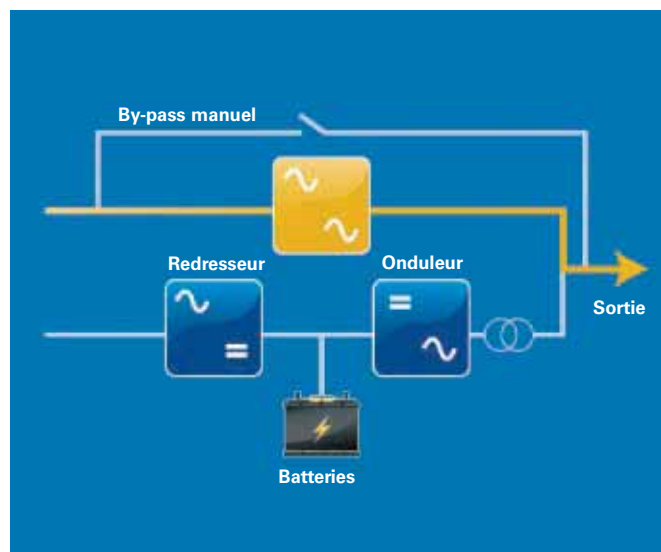


Figure 2 - schéma unifilaire fonctionnant en priorité sur la ligne de by-pass. L'onduleur est synchronisé en continu avec la ligne de by-pass et prêt à prendre la charge quand c'est nécessaire.

Suite à la large adoption de ces configurations, il devenait néanmoins évident qu'une solution encore plus intelligente était nécessaire. Un tel système serait capable de faire la distinction entre différents types de perturbations et de fournir le conditionnement en fonction du niveau et du type de perturbation, plutôt que de toujours utiliser la même solution (double conversion ou double conversion intelligente) pour tous les types de perturbations.

Un certain nombre de perturbations (comme les chutes de tension, les variations de tension, les harmoniques, etc.) peuvent être compensées par des filtres, en particulier des filtres actifs, il n'est alors plus nécessaire que l'énergie passe par le circuit de double conversion.

## 2. Que se passe-t-il si l'ASI standard a déjà un filtre actif ?

C'est déjà le cas. Quand l'ASI est en mode line interactive, le sous-ensemble onduleur est inactif et toujours prêt à délivrer une alimentation immédiate à la charge. Par conséquent, le sous-ensemble onduleur peut servir à compenser les perturbations du réseau vers la charge et vice versa, ce qui isole encore complètement la charge du réseau sans avoir à utiliser la solution de double conversion. Il est encore possible que le réseau présente une panne ou que la compensation requise soit supérieure à ce que le sous-ensemble onduleur est capable de fournir, auquel cas l'ASI active immédiatement le circuit de double conversion.

Aujourd'hui, ces solutions ont été améliorées par l'adoption des derniers onduleurs triphasés dotés de la technologie double conversion: ASI sans transformateur (voir fig. 3). Cette topologie d'ASI peut désormais atteindre 1200 kW de puissance dans une seule unité qui, en combinaison avec la dernière technologie de commande, est capable de délivrer le niveau ultime de protection de l'alimentation tout en atteignant le niveau de rendement le plus élevé du marché.

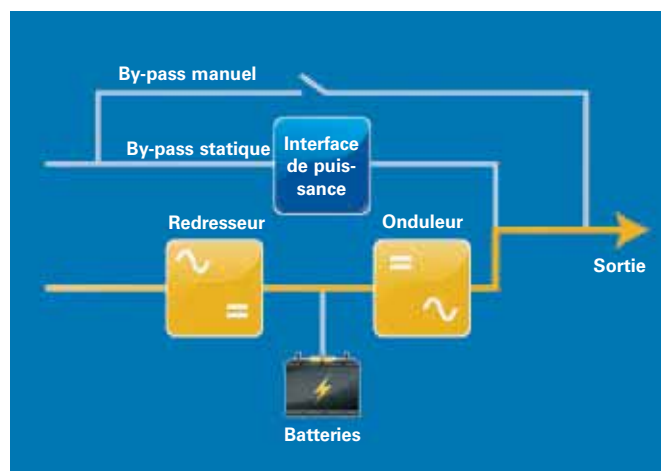
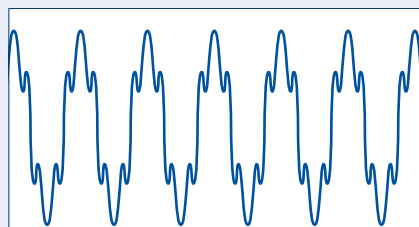


Figure 3 – nouvelle ASI sans transformateur dotée de la technologie Trinergy et fonctionnant en mode double conversion.

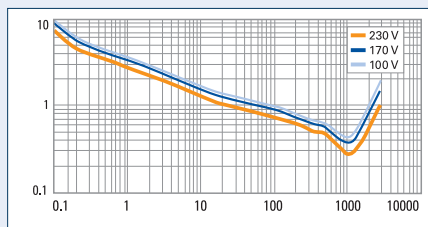
## Modes de fonctionnement de l'ASI : un nouvel algorithme pour un rendement sans précédent

### 2.1 Perturbations électriques typiques

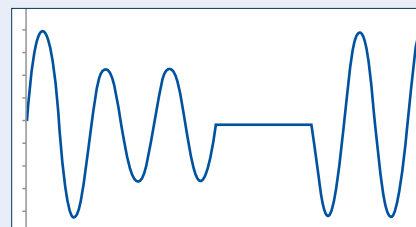
La qualité de l'alimentation électrique dépend de plusieurs types de perturbations qui peuvent se résumer brièvement dans les catégories suivantes :



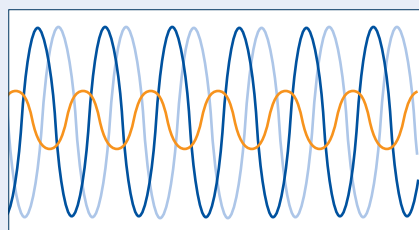
Harmoniques et inter-harmoniques



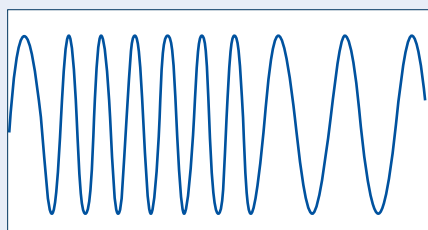
Fluctuations de tension et transitoires



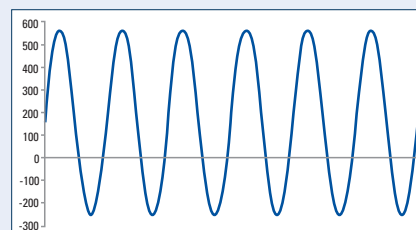
Baisse de tension (chute) et interruptions



Déséquilibre de tension



Variations de fréquence de l'alimentation



Composants CC, encoche et bruit électrique

Les autres perturbations possibles sont une tension basse fréquence induite et des oscillations transitoires.

### 2.2 Solutions disponibles

Plusieurs solutions sont actuellement disponibles pour conditionner et améliorer la qualité de l'alimentation électrique de la charge :

- ASI
- Suppresseur de source de tension transitoire (TVSS)
- Inverseurs de sources statiques
- Filtres actifs en série
- Filtres actifs en parallèle
- Filtres actifs hybrides (série et parallèle)

Les trois dernières solutions basées sur des filtres actifs sont typiquement utilisées pour compenser toutes les catégories de perturbations, exceptées les interruptions de tension et les variations de fréquence, dans certaines limites et avec une grande efficacité.

Si l'on considère les perturbations électriques courantes évoquées plus tôt au chapitre 2.1, l'ASI dans sa configuration double conversion est la seule capable à l'heure actuelle de compenser toutes les perturbations électriques possibles. En effet, l'ASI est capable de fournir à la charge une tension de haute qualité, à la fois en présence de fortes fluctuations dans l'amplitude de la tension et en cas d'interruptions totales de l'alimentation. Cette dernière fonction peut être obtenue avec des dispositifs locaux de stockage de l'énergie, comme des batteries ou des volants d'inertie.

L'ASI à double conversion est certainement une solution majeure, son seul inconvénient étant de consommer une quantité significative d'énergie pour convertir en permanence l'alimentation d'entrée alternative en alimentation continue puis l'alimentation continue en alimentation de sortie alternative.

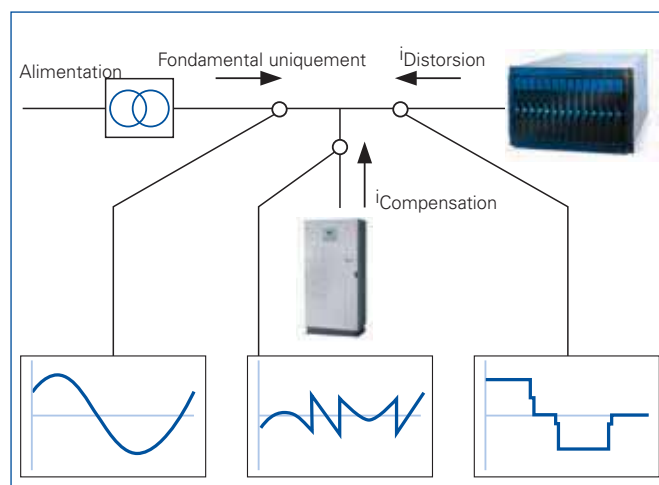


Figure 4 – filtres actif parallèle pour la compensation des harmoniques, FP et tensions transitoires.

## Modes de fonctionnement de l'ASI : un nouvel algorithme pour un rendement sans précédent

### 2.3 Double conversion intelligente pour un rendement élevé

Dans de nombreux cas, le haut niveau de conditionnement de l'énergie obtenu avec une ASI à double conversion est supérieur à celui réellement nécessaire pour contrer la perturbation en cours. La solution idéale serait donc une solution capable de fonctionner en mode double conversion uniquement quand c'est nécessaire. Seulement en cas de fluctuation hors tolérance de la tension d'entrée.

L'ASI à double conversion intelligente est donc une ASI qui fonctionne sur la ligne de by-pass automatique comme source de charge principale tandis que :

1. le sous-ensemble onduleur est synchronisé en continu sur la ligne de by-pass pour permettre une commutation rapide et fiable sur la double conversion ou l'alimentation de la batterie si nécessaire
2. l'entrée est surveillée en continu pour vérifier la présence de fluctuations possibles par rapport aux conditions normales.

Cette solution utilise la double conversion uniquement quand c'est nécessaire et alimente la charge en perdant une très petite quantité d'énergie seulement via la ligne de by-pass.

- Le rendement typique de la dernière ASI à transformateur en double conversion est de 93 %
- Le rendement typique d'une ASI à transformateur sur la ligne de by-pass est de 97 %

Pour éviter les commutations trop fréquentes entre les deux lignes (après une sortie des tolérances ou une panne du réseau), un algorithme spécifique autorise la surveillance de la charge sur une plus longue période, en fonction de la fréquence et de la durée des problèmes affectant le réseau, avant le retour à la ligne de by-pass. Par conséquent, en fonction de l'environnement électrique, l'ASI restera un certain temps sur la ligne de by-pass et sur la ligne de double conversion le reste du temps. Pour une explication détaillée des implications sur le rendement résultant de ce type de solution, reportez-vous à « New Control Techniques for UPS Dynamic Efficiency Optimisation » (Zanei, 2009)<sup>2</sup>.

Il s'agit de la solution standard adoptée par toutes les ASI Chloride triphasées à forte puissance (au-dessus de 10 kVA) pour obtenir un meilleur rendement.

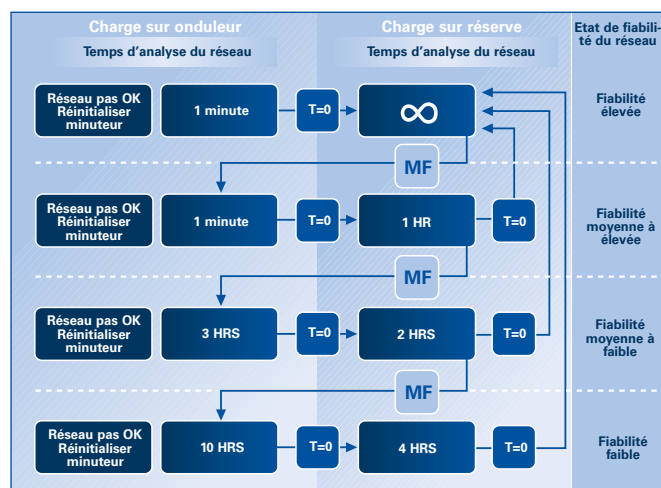


Figure 5 - algorithme utilisé pour commander l'état de l'ASI en fonction de la qualité du réseau. Cet algorithme est fondamental pour éviter les commutations entre le mode double conversion et le mode interactif numérique qui se produisent trop souvent lorsque la qualité du réseau se détériore.

Alors qu'il s'agit certainement d'une bonne solution pour améliorer le rendement global de l'ASI, il y a des possibilités de l'améliorer encore tout en maintenant le plus haut niveau de protection contre les perturbations de l'alimentation.

- Que se passe-t-il quand l'environnement électrique subit trop fréquemment des dépassements du réseau hors des tolérances ?
- Pourquoi l'ASI doit-elle passer en mode double conversion, même pour de faibles dépassements alors qu'il suffirait d'utiliser un filtre plus petit ?
- Que peut-on faire pour limiter les effets des charges indésirables (distorsion ou déplacement) lors d'une connexion directe au réseau en mode DIM ?

Dans les trois cas susmentionnés, l'ASI passe beaucoup de temps en mode double conversion, même si ce n'est pas toujours nécessaire. Ceci est dû au fait que ce type de solutions à haut rendement sépare complètement le réseau de la charge (voir Fig. 1).

### 2.4 Utilisation de l'onduleur comme filtre actif

L'utilisation d'un filtre en parallèle et d'un filtre en série pendant le fonctionnement sur la ligne de by-pass serait donc une solution. Ceci permet la compensation de la plupart des types de perturbations présentées au chapitre 2.1 dans une certaine limite, excepté les interruptions de tension et variations de fréquence, tout en maintenant un haut rendement. Ceci est rendu possible par le fait que le filtre actif utilise moins de puissance que la double conversion pour compenser les perturbations.

La bonne nouvelle étant, dans ce cas, que le filtre actif ne nécessite pas d'être un composant supplémentaire encombrant à l'ASI depuis que le sous-ensemble onduleur IGBT commandé par la technologie de commande vectorielle brevetée de Chloride permet d'utiliser ce dernier comme un filtre actif. Ceci est rendu possible par l'inactivité du sous-ensemble onduleur pendant le fonctionnement en mode haut rendement. Il est ainsi possible d'utiliser le sous-ensemble onduleur en série et en parallèle.

## Modes de fonctionnement de l'ASI : un nouvel algorithme pour un rendement sans précédent

**Onduleur utilisé comme filtre actif en parallèle** : l'onduleur fonctionne comme une génératrice de courant contrôlée qui compense le contenu réactif et harmonique de la charge.

**Onduleur utilisé comme filtre actif en série** : le courant du filtre actif prend une forme permettant de compenser la tension de la ligne de by-pass pour rester dans les limites de tolérances. Ceci est possible en ajoutant une inductance en série dont l'objectif principal est d'ajouter une faible impédance de ligne pour la compensation active de la tension par interaction avec le courant du filtre actif généré par l'onduleur.

Proportionnellement au courant généré par la compensation des perturbations, les pertes de puissance seront supérieures à celles subies sur la ligne de by-pass à haut rendement, mais inférieures à celles se produisant en mode double conversion.

En cas de combinaison avec l'utilisation de la dernière technologie d'ASI sans transformateur, il devient évident que cette ASI dotée de la technologie Trinerigy dispose vraiment du plus haut rendement de l'industrie.

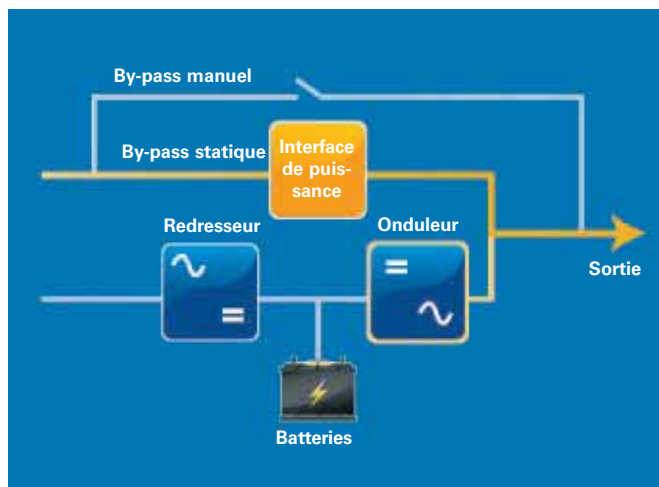


Figure 6 – technologie Trinerigy. L'ASI est configurée pour compenser automatiquement certaines perturbations sur le réseau en utilisant l'onduleur IGBT comme filtre actif qui peut être configuré comme filtre actif parallèle ou de série, tandis que la charge est alimentée via la ligne de by-pass statique.

### 3. Description de la commande Trinerigy

Trinerigy est la nouvelle solution révolutionnaire qui incorpore les trois topologies standard existantes dans une seule ASI sans transformateur :

- **Mode de commande en puissance maximale** (IEC 62040-3 VFI) : il s'agit du mode double conversion qui fournit le plus haut niveau de conditionnement du courant. Il protège la charge de tous les types de perturbations électriques du réseau en utilisant une quantité plus importante d'énergie. Le rendement à pleine charge avec la dernière technologie sans transformateur est supérieur à 95 %.
- **Mode d'économie d'énergie maximale** (IEC 62040-3 VFD) : ce mode détecte quand le besoin de conditionnement est nul et permet à l'énergie de passer à travers la ligne de by-pass. Dans ce cas, le rendement atteint 99 %.

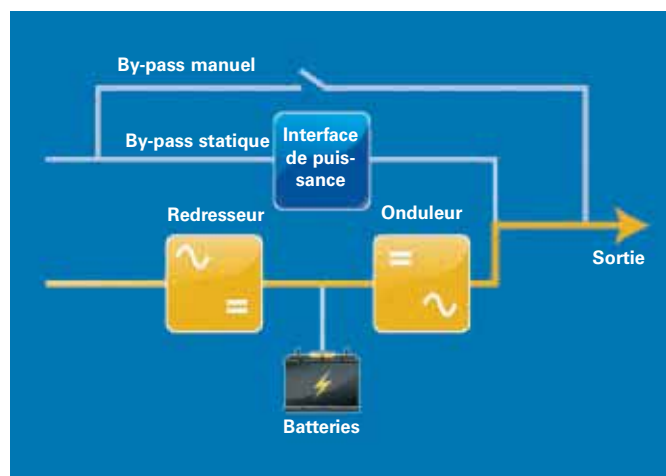


Figure 7 – nouvelle ASI sans transformateur dotée de la technologie Trinerigy et fonctionnant en mode double conversion

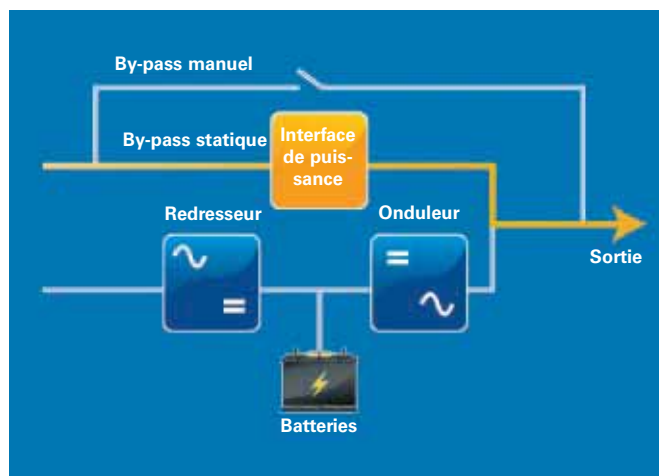


Figure 8 – nouvelle ASI sans transformateur avec technologie Trinerigy fonctionnant en mode interactif numérique.

## Modes de fonctionnement de l'ASI : un nouvel algorithme pour un rendement sans précédent

- Mode haut rendement et conditionnement du courant** (IEC 62040-3 VI): compense uniquement les principales perturbations telles que THDi et FP de la charge, ainsi que les chutes et pics de la source. L'énergie utilisée provient de l'utilisation de l'onduleur comme filtre actif et donne toute la puissance réactive requise. En conditions typiques, ce mode aura un rendement situé entre 96 et 98 %, en fonction du type de charge (p. ex. non linéaire, linéaire, etc.) et des conditions du réseau sur l'entrée.

La commande précise du Trinergy lui permet d'activer rapidement et en continu l'un des trois modes de fonctionnement de l'ASI afin d'obtenir le rendement et l'efficacité de chacune des configurations standard. Simultanément, le Trinergy continue à maintenir la performance et la protection du courant d'une ASI de Classe 1 (CEI 62040-3) pour la charge et un conditionnement parfait du courant d'entrée (THDi < 3% et FP d'entrée > 0,99) pour la distribution en amont.

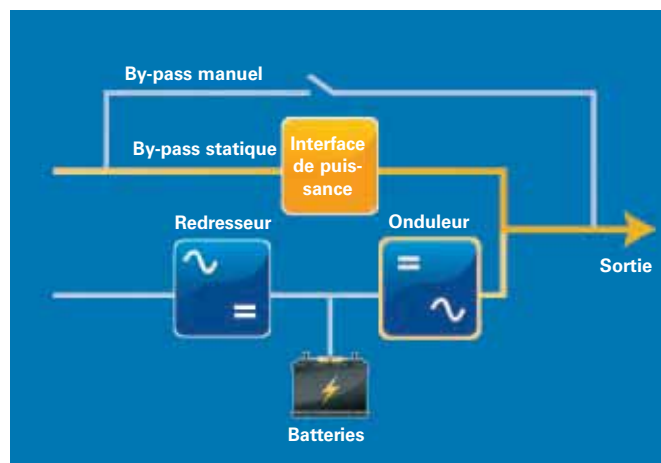


Figure 9 - nouvelle ASI sans transformateur dotée de la technologie Trinergy fonctionnant en mode ligne interactive avec un filtre actif compensant les perturbations sur le réseau ou la charge.

## Conclusion

En conclusion, on peut confirmer que la technologie de la double conversion dans une ASI est très efficace pour résoudre la quasi totalité des perturbations du réseau. Toutefois, le fait est qu'une ASI à haut rendement avec un mode éco a peu de raison d'être si le temps pendant lequel l'ASI peut fonctionner à haut rendement est réduit et si elle est limitée dans la protection du réseau et de la charge face aux fluctuations non désirées.

L'intégration de toutes les configurations standard et leur mise à disposition dans une seule unité permet à l'ASI de fonctionner en mode à haut rendement sur une période significative. Trinergy atteint cet objectif car il est capable de fournir instantanément et en continu le bon niveau de compensation de la puissance, à la fois pour protéger la

charge et pour éviter que les perturbations en provenance de la charge ne se propagent à toute l'installation.

Ceci a été rendu possible grâce à la technologie de commande vectorielle brevetée par Chloride permettant d'utiliser l'onduleur comme un filtre actif en série et en parallèle lorsque l'ASI fonctionne sur la ligne de by-pass. Ainsi, il est possible d'obtenir, dans les situations d'installation typiques (valeur obtenue avec le dispositif de diagnostic à distance LIFE.net de Chloride) un rendement moyen de 98% très proche du rendement idéal de 99 %<sup>3</sup> ce qui permet à Trinergy d'atteindre l'efficacité et le rendement de chacune des configurations standard tout en maintenant la performance et la protection de la puissance d'une ASI de Classe 1 (CEI 62040-3).

### Bibliographie

- (1) IEEE 1159-1995, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality", juin 1995
- (2) Zanei G., Cevenini E., Ferro A. & Rossi C.: "New Control Techniques for UPS Dynamic Efficiency Optimisation", INTELEC Korea 2009
- (3) Note d'application sur les économies d'énergie, Chloride 2009.

## ANNEXE

L'activation des trois modes de fonctionnement du Trinergy est basée sur le suivi en temps réel des principaux paramètres liés aux conditions du réseau d'entrée et à la qualité de la charge de sortie. Les para-

mètres du tableau indiquent la méthode utilisée par Trinergy pour déterminer lequel des trois modes de fonctionnement activer en réponse aux diverses caractéristiques d'entrée et de sortie.

Mode	Variables commandées (conditions électriques commandées par l'ASI)					Variables observées au sein des spécifications de l'ASI (l'ASI les utilise pour choisir le mode de fonctionnement)					Rendement	
	ENTRÉE		SORTIE (CHARGE)			PLAGE D'ENTRÉE		PLAGE DE CHARGE				
	THDi	FP	V	THDv	f(Hz)	V(v)	f(Hz)	THDi	FP	THDv		
<b>Double conversion VFI</b>	<3%	>0,99	400	<2% (<3%)	50	400 +/- 20%	45-65	THDi >10%, FC <3	Tout FP (capacitif ou inductif)	<2% (<3%)	95%	<b>MODE1</b>
<b>Interactif VI</b>	<5%	>0,99	400 +/- 10%	<3% (<5%)	Identique à l'entrée	400 +/- 15%	50 +/- 6%	THDi >5%, THDi <10%	0,9 <FP< 0,95	<3% (<5%)	96-98%	<b>MODE2</b>
<b>Interactif numérique VFD</b>	<5%	≥0,95	400 +/- 10%	<3% (<5%)	Identique à l'entrée	400 +/- 10%	50 +/- 6%	THDi <5%	FP ≥ 0,95	<3% (<5%)	99%	<b>MODE3</b>

Tableau A – Variables de commande des modes de fonctionnement du Trinergy\*

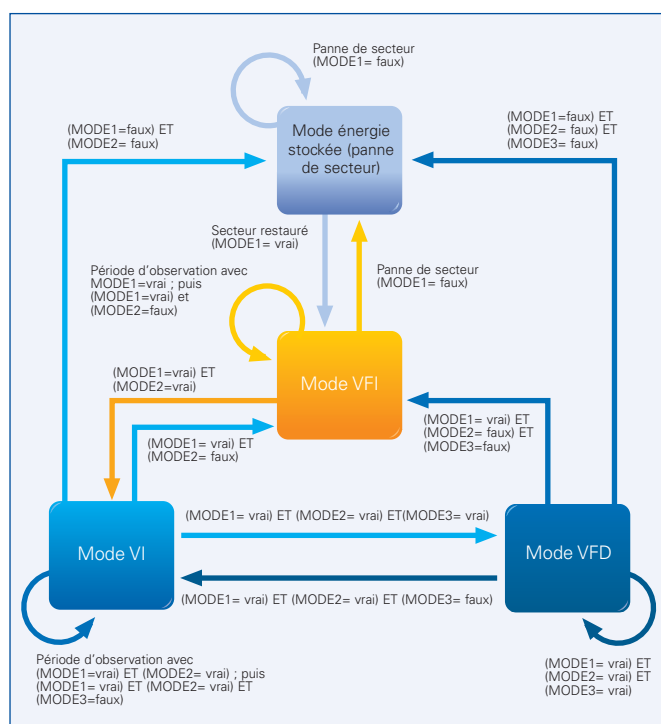


Figure B – Schéma fonctionnel du Trinergy

Les conditions électriques liées à la charge et au secteur sont surveillées en continu, ce qui permet la meilleure protection qui soit pour l'alimentation de la charge à tout moment, avec le plus haut niveau de rendement.

Si les variables observées, répertoriées ci-dessus, se trouvent hors des plages indiquées, l'ASI active un autre mode de fonctionnement en accord avec l'algorithme indiqué à la figure B.

Les variables indiquées dans le tableau ci-dessus peuvent être personnalisées sur demande, par l'ingénieur Chloride.

\*Les conditions dans le tableau se réfèrent à la charge de sortie maximale.

Le schéma fonctionnel du Trinergy (fig. B) indique comment le Trinergy choisit entre les trois modes de fonctionnement. L'ASI commence à fonctionner en mode double conversion et passe au mode VI ou VFD une fois que les conditions du secteur indiquent que la qualité des variables observées est suffisante et assez stable.