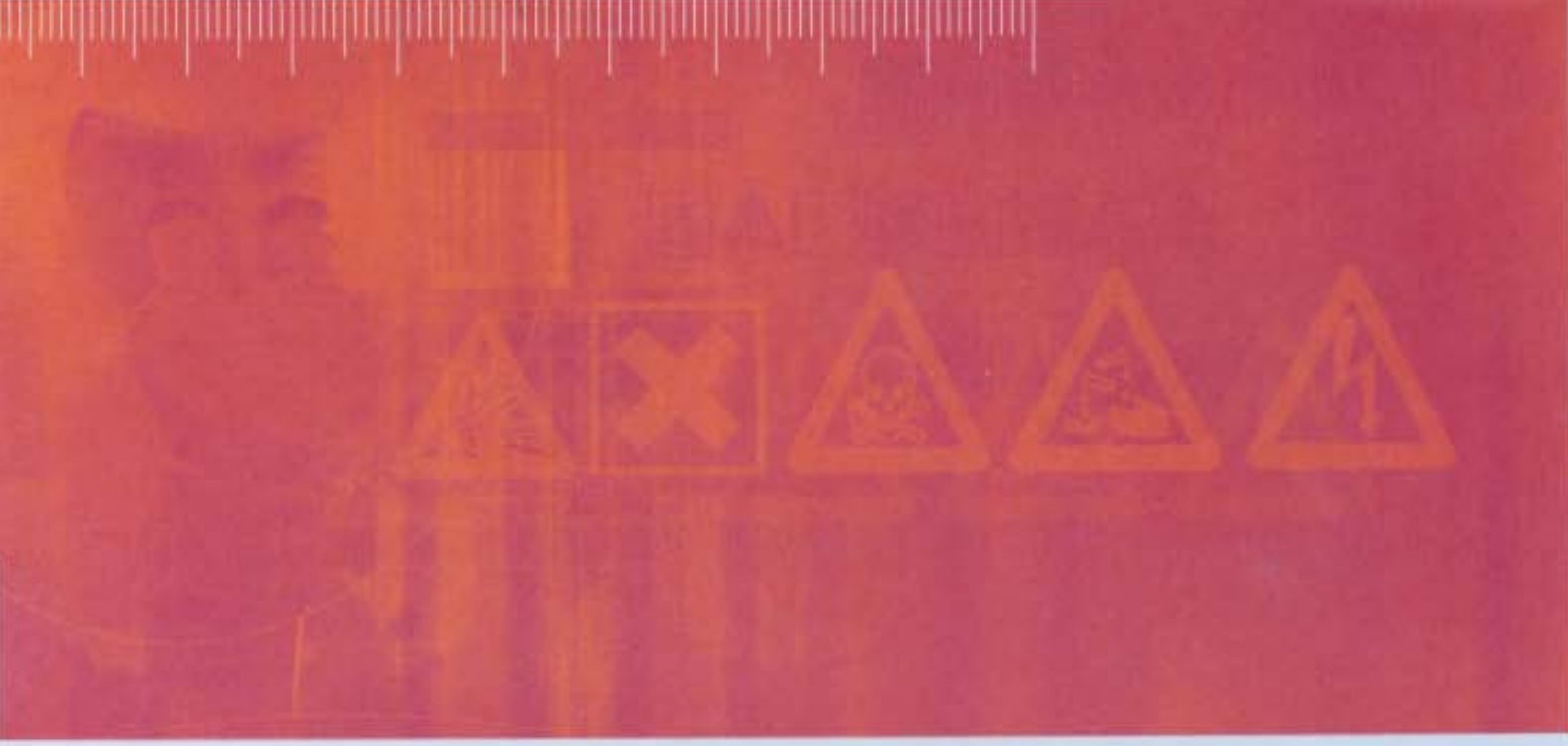


Document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité (B.T.S.)

Systèmes d'alimentation de secours (Groupes Électrogènes et Alimentation Sans Interruption)

N° DRA-18-164434-00115B

11 octobre 2019

INERIS

maîtriser le risque
pour un développement durable

Document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité (B.T.S.)

Type d'installation : Tout type d'installation

Nom du dispositif : Systèmes d'alimentation de secours (Groupes Électrogènes et Alimentation Sans Interruption)

Document élaboré par : l'INERIS

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Pierre SUREAU, Jean-Michel DRANGUET, Ahmed ADJADJ, Albin TARRISSE

PREAMBULE

Les documents de synthèse relatifs à une barrière de sécurité sont la propriété de l'INERIS. Il n'est accordé aux utilisateurs qu'un droit d'utilisation n'impliquant aucun transfert de propriété.

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur, ainsi que des pratiques et méthodologies développées par l'INERIS. Bien que l'INERIS s'efforce de fournir un contenu fiable, il ne garantit pas l'absence d'erreurs ou d'omissions.

Ce rapport est destiné à des utilisateurs disposant de compétences professionnelles spécifiques dans le domaine des risques accidentels. Les informations qu'il contient n'ont aucune valeur légale ou réglementaire. Ce sont des informations générales. Elles ne peuvent, en aucun cas, répondre aux besoins spécifiques de chaque utilisateur. Ces derniers seront donc seuls responsables de l'utilisation et de l'interprétation qu'ils feront des rapports. De même, toute modification et tout transfert de ces documents se feront sous leur seule responsabilité.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra, en aucun cas, être engagée à ce titre.

	Rédaction	Relecture	Vérification	Approbation
NOM	Albin TARRISSE	Ahmed ADJADJ	Valérie DE DIANOUS	Sylvain CHAUMETTE
Qualité	Ingénieur à l'Unité Quantification des Risques et performances des Barrières Direction des Risques Accidentels	Responsable de programme Unité Quantification des Risques et performances des Barrières Direction des Risques Accidentels	Responsable d'Unité Unité Quantification des Risques et performances des Barrières Direction des Risques Accidentels	Responsable du pôle Analyse et Gestion Intégrées des Risques Direction des Risques Accidentels
Date	17/12/2018	17/12/2018	17/12/18	17/12/18
Visa				

GLOSSAIRE

AC/DC : Alternative Current to Direct Current

AES : Alimentation Électrique de Sécurité

ARIA : Analyse, Recherche et Information sur les Accidents

ASI : Alimentation Sans Interruption

ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire

ASSC : Alimentation Statique Sans Coupure

AVR : Automatic Voltage Regulator

BARPI : Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels

DC/AC : Direct Current to Alternative Current

DLD : Dispositif de Limitation de Décharge

EDF : Electricité de France

EMI : Electromagnetic Interference

ERP : Etablissement Recevant du Public

GE : Groupe Electrogène

MTBF : Mean Time Between Failure

RFI : Radio Frequency Interference

SCA : Système de Commutation Automatique

UPS : Uninterruptible Power Supply

TABLE DES MATIÈRES

1. FONCTION DE SECURITE 7

2. RÉFÉRENTIEL RÈGLEMENTAIRE ET NORMATIF 9

2.1 Groupes électrogènes 9

2.2 Alimentations Sans Interruption (ASI) 10

3. PARAMÈTRES À PRENDRE EN COMPTE POUR LE CHOIX ET LE DIMENSIONNEMENT DES ALIMENTATIONS DE SECOURS 11

3.1 Exigences sur la puissance de la charge 11

3.2 Exigences sur la qualité du signal électrique 11

3.3 Durée de la perte d'alimentation 12

4. DESCRIPTION DES ALIMENTATIONS DE SECOURS 13

4.1 les groupes électrogènes 13

4.1.1 Description des groupes électrogènes 13

4.1.2 Puissance des groupes 14

4.1.3 Raccordement des groupes au réseau électrique 15

4.1.3.1 Couplage au réseau 15

4.1.3.2 Dispositifs de protection 15

4.2 Alimentation sans interruption (ASI) 16

4.2.1 Description des ASI 16

4.2.1.1 Description générale 16

4.2.1.2 Batteries d'accumulateurs 17

4.2.2 Modes de fonctionnement des ASI 17

4.2.2.1 ASI en attente passive (passive standby UPS ou Off-line) 18

4.2.2.2 ASI en interaction avec le réseau (Line-interactive UPS) 18

4.2.2.3 ASI à double conversion (double conversion UPS / On-line) 19

4.2.2.4 Applications possibles 21

4.2.3 Systèmes de gestion des batteries 21

5. CRITERES D'ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE 23

5.1 Indépendance 23

5.2 Efficacité 23

5.3 Temps de réponse 24

5.4 Niveau de confiance 25

6. ENTRETIEN ET MAINTENANCE 27
6.1 Entretien d'un groupe électrogène 27
6.2 Entretien d'un système d'alimentation sans interruption (ASI) 28
7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 29
8. LISTE DES ANNEXES 31

1. FONCTION DE SECURITE

L'électricité est une source d'énergie primordiale pour le bon déroulement des activités industrielles. La défaillance de l'alimentation électrique peut avoir des répercussions graves sur les biens et les personnes :

- elle peut être un événement initiateur pouvant conduire à des phénomènes dangereux (par exemple emballement de réaction suite à l'arrêt de l'agitateur dans un réacteur, perte de la fonction de refroidissement sur des stockages de peroxydes…) ;
- ou elle peut conduire à la perte d'une fonction de sécurité lorsque la barrière est à émission et nécessite une source d'énergie pour fonctionner, telle que l'arrêt d'un ventilateur d'extraction.

Des systèmes d'alimentation de secours fiables doivent être mis en place pour assurer la fourniture en électricité en cas de perte du réseau. Ce rapport présente l'évaluation de la performance des systèmes d'alimentation de secours installés dans les installations industrielles. Deux technologies sont étudiées :

- les groupes électrogènes ;
- les Alimentations Sans Interruption (ASI) : onduleurs, batteries…

La fonction de sécurité de ces systèmes est d'assurer un secours de l'alimentation électrique, pendant une durée définie, en cas de défaillance du réseau électrique.

Le système d'alimentation de secours doit répondre aux exigences de l'unité secourue. Les paramètres suivants sont à prendre en compte pour choisir les équipements de secours adaptés :

- La puissance de la charge à secourir ;
- La tolérance de la charge à la qualité du signal électrique ;
- Le temps de reprise qui doit se faire dans un délai compatible avec les besoins de la charge (tolérance à la coupure maximale admissible).

Une analyse de risques peut également être menée par rapport aux risques liés à son emplacement.

Les systèmes suivants ne sont pas étudiés dans ce rapport :

- Les systèmes de secours fonctionnant à base de turbines à gaz, à vapeur… ;
- Les systèmes fonctionnant comme source d'alimentation continue.

2. RÉFÉRENTIEL RÈGLEMENTAIRE ET NORMATIF

2.1 GROUPES ÉLECTROGÈNES

Les groupes électrogènes sont soumis indirectement à diverses réglementations susceptibles d'imposer des exigences sur les émissions de gaz, la capacité maximale des réservoirs de carburant, le type de stockage (réservoir enfoui, double-paroi, etc.), la détection et protection incendie, le niveau sonore…Ils ne sont pas couverts par une réglementation spécifique, en dehors d'une utilisation dans des ERP (arrêté du 19 novembre 2001 – cf. annexe 2).

Ils sont soumis à diverses normes qui sont listées en annexe 2 : NF ISO 8528 (norme générale sur les groupes électrogènes), NF E37-312 (norme pour les groupes électrogènes utilisables en tant que source de sécurité pour l'alimentation des installations de sécurité (GSS)), NFS 61-940 (norme spécifique aux alimentations électriques de secours alimentant des systèmes de sécurité incendie et alimentation électrique de sécurité).

L'arrêté du 26 février 2003 consolidé au 28 novembre 2018 relatif aux circuits et installations de sécurité, applicable aux chefs d'établissements visés par l'article L231-1 du code du travail, fixe des prescriptions pour les groupes électrogènes destinés à secourir les installations électriques essentielles pour la sécurité. Les articles 6 et 9 introduisent des obligations relatives à la conception et la maintenance d'un groupe électrogène de secours :

- Article 6 :
  - § 2. Lorsqu'une source de sécurité est constituée par un groupe électrogène, le groupe doit être conforme à la norme NF S 61-940 ou à toute autre norme ou spécification technique équivalente d'un autre État appartenant à l'Espace économique européen.
  - § 3. Un groupe électrogène de remplacement peut être utilisé comme source de sécurité à condition qu'il satisfasse à la disposition du paragraphe 2 ci-dessus et que, dans tous les cas, la puissance nécessaire pour assurer le démarrage et le fonctionnement de tous les équipements de sécurité soit disponible. Lorsque la source de remplacement comprend plusieurs groupes électrogènes, en cas de défaillance de l'un d'eux, la puissance encore disponible doit rester suffisante pour assurer le démarrage et le fonctionnement de tous les équipements de sécurité.

    Dans le cas de l'existence d'installations dont l'arrêt inopiné ou le maintien à l'arrêt entraînerait des risques pour le personnel, deux groupes électrogènes au moins sont requis.
- Article 9 :
  - § 1. L'ensemble des installations de sécurité doit faire l'objet d'une maintenance régulière par des agents qualifiés.
  - § 2. Le bon fonctionnement des installations de sécurité doit être vérifié dans le cadre de la surveillance des installations électriques et lors des visites initiales et périodiques [...].

- § 3. Les groupes électrogènes de sécurité doivent faire l'objet d'un entretien régulier et d'essais selon la périodicité minimale suivante :
  - tous les quinze jours, vérification du niveau d'huile, d'eau et de combustible, du dispositif de réchauffage du moteur et de l'état de la source utilisée pour le démarrage (batterie ou air comprimé) ;
  - tous les mois, en plus des vérifications ci-dessus, essai de démarrage automatique avec une charge minimale de 50 % de la puissance du groupe et fonctionnement avec cette charge pendant une durée minimale de 30 minutes.

  Les interventions ci-dessus et leurs résultats doivent être consignés dans un document annexé à un registre.

2.2 ALIMENTATIONS SANS INTERRUPTION (ASI)

Les ASI sont soumis à diverses normes qui sont listées en annexe 2 : NF EN 62040 (norme générale sur les ASI), NFS 61-940 (norme spécifique aux alimentations électriques de secours alimentant des systèmes de sécurité incendie et alimentation électrique de sécurité).

Ils ne sont pas couverts par une réglementation spécifique, en dehors d'une utilisation dans des ERP (arrêté du 19 novembre 2001 – cf. annexe 2).

3. PARAMÈTRES À PRENDRE EN COMPTE POUR LE CHOIX ET LE DIMENSIONNEMENT DES ALIMENTATIONS DE SECOURS

Le système d'alimentation de secours doit répondre aux exigences de l'unité secourue pour une durée définie.

3.1 EXIGENCES SUR LA PUISSANCE DE LA CHARGE

Dans la suite de ce document, on entend, selon le contexte, par « charge » :

- la demande en puissance des consommateurs électriques secourus qui pèse sur l'alimentation de secours ;
- l'accumulation d'électricité statique dans une batterie.

Les groupes électrogènes sont destinés à secourir des charges de forte puissance pendant une durée relativement longue (plusieurs heures). Il peut s'agir de moteurs, de pompes ou d'installations complètes.

Les Alimentations Sans Interruption sont utilisées pour des dispositifs plus ciblés. Les dispositifs secourus par des ASI sont notamment les réseaux informatiques, les automatismes de contrôle-commande, etc… Les durées d'utilisation peuvent être plus ou moins longues (exemple : secours des écrans de contrôle).

3.2 EXIGENCES SUR LA QUALITÉ DU SIGNAL ÉLECTRIQUE

Les exigences sur la qualité du signal électrique (tension, fréquence, forme d'onde…) sont un paramètre pour définir le système d'alimentation de secours.

Ainsi, pour un secours assuré par un groupe électrogène, l'accouplement avec l'alternateur peut générer une fluctuation transitoire en tension et fréquence d'une faible durée (cf. Figure 1).

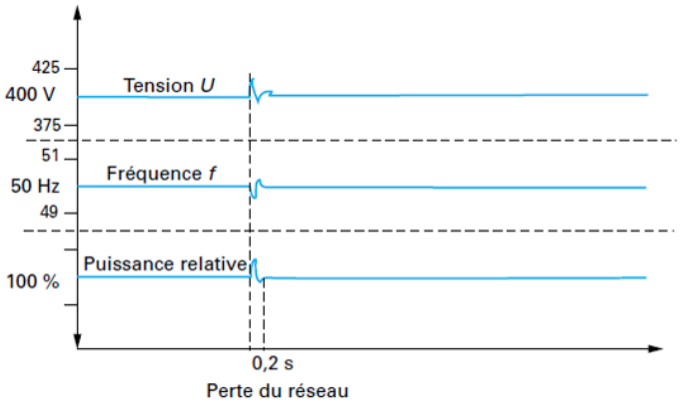


Figure 1: Panne du réseau à pleine charge relayé par le groupe électrogène (Techniques de l'Ingénieur) [1]

Si certains équipements ne peuvent pas supporter une quelconque défaillance du réseau électrique et nécessitent une alimentation continue et stable, ils doivent alors être secourus par des ASI.

La classe d'application du groupe électrogène est définie selon l'exigence de la charge à alimenter (ISO 8528-1) :

- Classe G1 : exigences mineures en tension et en fréquence (exemple : éclairage) ;
- Classe G2 : exigences proches de celles du réseau public, sur une application brutale de la charge des fluctuations temporaires en tension et en fréquence sont admises (exemple : pompes, ventilateurs) ;
- Classe G3 : exigences sévères en tension, en fréquence et en forme d'onde (exemple : télécommunications) ;
- Classe G4 : exigences exceptionnellement sévères en tension, en fréquence et en forme d'onde (exemple : systèmes informatiques) [1].

Les concepteurs doivent se référer aux normes en vigueur.

3.3 DURÉE DE LA PERTE D'ALIMENTATION

Lors du choix d'un système de secours, le temps de reprise de l'alimentation doit être envisagée au regard de la tolérance de la charge à la perte d'énergie.

Tout d'abord, les systèmes de secours de type groupe électrogène conduisent à un temps de latence entre la coupure et la reprise par le groupe électrogène. Le temps maximum acceptable par les installations doit être spécifié par l'exploitant. Deux situations sont possibles :

- **Délai d'intervention non spécifié**, pour les sites industriels dont la durée de coupure a peu d'importance. Le déclenchement peut être manuel ; il est réalisé par l'opérateur et est suivi d'un temps de montée en régime du moteur liée à la température de l'huile de moteur. Le temps de reprise se compose donc du temps de réaction de l'opérateur et du temps mis par le groupe électrogène avant de délivrer la puissance attendue.
- **Délai d'intervention à coupure spécifiée** par le site industriel. Si le délai d'intervention est faible, une action de reprise automatique est nécessaire [1].

Le groupe électrogène et le mode de commutation doivent être choisis en fonction des délais d'intervention requis. Le temps de reprise est souvent compris entre 8 et 15 secondes. La plupart des fabricants garantissent un temps de reprise (durée comprise entre l'ordre de démarrage et la fermeture du disjoncteur du groupe) de 15 secondes [2]. Un temps de reprise plus court serait difficilement atteignable et engendrerait une augmentation du coût conséquente.

Comme indiqué précédemment, les charges critiques ne tolérant pas la perte d'énergie doivent être alimentées par un système d'Alimentation Sans Interruption [2].

Finalement, il est également possible de coupler une ASI avec un groupe électrogène pour pallier les coupures de longues durées tout en assurant une reprise du système instantanée.

4. DESCRIPTION DES ALIMENTATIONS DE SECOURS

4.1 LES GROUPES ÉLECTROGÈNES

4.1.1 DESCRIPTION DES GROUPES ÉLECTROGÈNES

Un groupe électrogène est un ensemble formé :

- **Du groupe constitué :**
  - D'un moteur thermique transformant le combustible en énergie mécanique ;
  - D'un réservoir à carburant de service et de ses tuyaux d'alimentation ;
  - D'un système de préchauffage et de démarrage du moteur thermique lui permettant de démarrer dans des conditions de température optimales (batterie ou air comprimé généralement pour des groupes de forte puissance). Le défaut de batterie représente la cause la plus courante de l'échec du démarrage ; pour cette raison, un démarrage par air comprimé est souvent utilisé. Deux systèmes de démarrage de natures différentes peuvent être installés pour assurer la même fonction ; un système prend le relais en cas de non-démarrage du système défini comme prioritaire par l'automate de contrôle.
  - De systèmes de refroidissement et de lubrification ;
  - D'un système de ventilation de l'enceinte permettant de dissiper la chaleur émise par le moteur et ainsi d'éviter une surconsommation de fuel, la dégradation du moteur et un rendement dégradé du groupe.
  - D'un alternateur convertissant l'énergie mécanique produite par le moteur en énergie électrique ;
- **D'un système de contrôle-commande** permettant de moduler l'exploitation du réseau de distribution pour assurer une alimentation électrique fiable ;
- **Des interfaces entre le groupe électrogène et le réseau (tableau électrique).**

Figure 2: Groupe électrogène SDMO

La figure suivante présente le découpage fonctionnel d'un groupe électrogène.

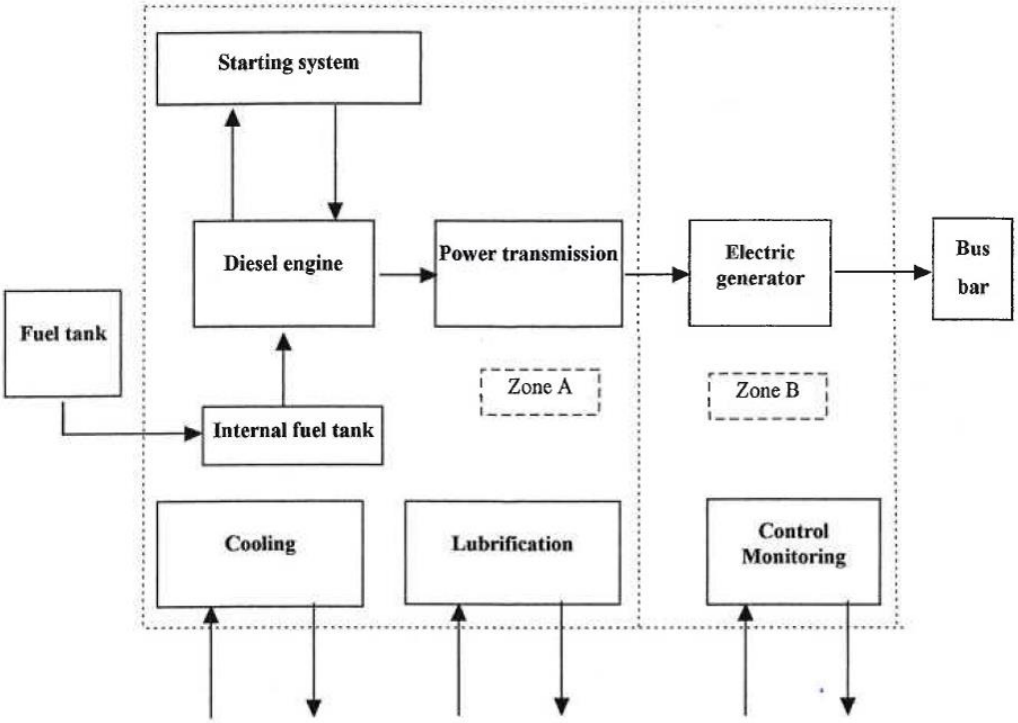


Figure 3: Découpage fonctionnel d'un groupe électrogène

4.1.2 PUISSANCE DES GROUPES

La définition de la puissance du groupe électrogène (classes de puissance) est réalisée à partir des besoins en électricité à assurer (définition de la charge). Le dimensionnement s'effectue en considérant les scénarios d'alimentation possibles (durée, puissance maximale disponible).

La puissance nominale d'un groupe électrogène est définie comme la puissance disponible aux bornes de l'alternateur (déduction faite de la puissance absorbée par les auxiliaires essentiels : démarrage du groupe, alimentation en combustible, refroidissement et lubrification) à la fréquence de définition sous un facteur de puissance de 0,8 [1].

La puissance disponible (ou active) délivrée dépend du type de fioul utilisé, des conditions atmosphériques, de la configuration du site, de l'altitude, de l'humidité relative, des caractéristiques de la charge et des variations de charge dans le temps [2].

La norme ISO 8528-1 pour les groupes électrogènes définit la notion de puissance du groupe par trois qualificatifs distincts :

- **La puissance continue** : puissance que le groupe est capable de fournir en service continu pour un nombre d'heures illimité par an sous respect des conditions de maintenance, d'arrêts normaux et des conditions ambiantes définies.
- **La puissance principale** : puissance maximale disponible, sous charge variable, fournie par le moteur pendant une durée infinie sous respect des conditions de maintenance, d'arrêts normaux et des conditions ambiantes définies.

- **La puissance pour utilisation limitée** : puissance maximale que la machine peut délivrer pendant une durée limitée (inférieure à 500 h/an de manière générale et une marche continue maximale de 300 h). Le fonctionnement dans ces conditions peut affecter la durée de vie du groupe.

Une puissance additionnelle (en général 10% de la puissance assignée) est ajoutée à la capacité du groupe afin de faire face aux besoins de régulation (application brusque de la charge). Il s'agit d'une puissance de sécurité qui ne doit pas être utilisée pour réaliser l'alimentation en régime permanent.

La puissance des groupes électrogènes ne permet pas nécessairement d'alimenter l'ensemble des utilisateurs du réseau. En cas de perte du réseau électrique, le délestage permet d'assurer l'alimentation des charges prioritaires de l'installation qui auront été définies.

4.1.3 RACCORDEMENT DES GROUPES AU RÉSEAU ÉLECTRIQUE

4.1.3.1 COUPLAGE AU RÉSEAU

Lorsque les groupes sont prêts à alimenter les charges prioritaires, ils sont raccordés sur les utilisateurs. Ils fonctionnent alors en mode isolé (isochrone). La fréquence doit alors être contrôlée par le régulateur de vitesse du groupe. Différents modes de régulation existent.

La commutation automatique est utilisée pour basculer rapidement vers le système d'alimentation de secours en cas de perte d'alimentation normale. La fermeture du disjoncteur de sortie du système d'alimentation de secours se réalise une fois la synchronisation en fréquence et tension effectuée. La commutation à tension résiduelle est la plus répandue si une perte momentanée de courant est admissible (durée de reprise de l'ordre de 150 ms). La commutation rapide ou groupe sans coupure est utilisée pour les systèmes ne tolérant aucune coupure.

Le couplage d'un groupe électrogène sur le réseau ou avec d'autres groupes électrogènes demande de respecter les principes suivants :

- l'égalité des tensions ;
- l'égalité des fréquences ;
- la concordance des phases.

Ce couplage peut s'effectuer de différentes manières (pour plus d'informations : cf. [1]).

4.1.3.2 DISPOSITIFS DE PROTECTION

Plusieurs mesures techniques de protection doivent être prises afin d'assurer l'intégrité des équipements.

L'objet de ces dispositifs est de limiter l'amplitude et la durée des contraintes électriques, thermiques ou mécaniques engendrées par des perturbations de façon à diminuer les conséquences et la gravité des dommages [1].

Les dispositifs suivants peuvent être utilisés comme mesures de protection (liste non-exhaustive).

- Protections contre les défaillances externes :
    - protection de surcharge de l'alternateur ;

- protection contre les courts-circuits ;
- protection thermique du bobinage stator ;
- protection contre les déséquilibres du courant ;
- protection contre les retours de puissance active.

- Protections contre les défauts d'origine interne :
  - protection contre la mise à la masse du stator ;
  - protection contre les pertes d'excitation assurée par un relais à retour de puissance réactive ;
  - protection maximum de tension ;
  - protection du moteur (niveau et température d'huile, niveau et température d'eau, température d'échappement). [1]

4.2 ALIMENTATION SANS INTERRUPTION (ASI)

D'autres dénominations sont possibles pour l'ASI : ASSC (Alimentation Statique Sans Coupure) ou UPS en anglais (Uninterruptible Power Supply). Le terme « onduleur » est parfois employé de manière abusive pour désigner l'ensemble du système d'alimentation de secours.

4.2.1 DESCRIPTION DES ASI

4.2.1.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE

Les Alimentations Sans Interruption sont des interfaces entre le réseau électrique et les charges critiques ne tolérant pas de variations du signal électrique. Un système d'ASI est au moins composé :

- d'un **convertisseur de courant alternatif** en courant continu (redresseur) connecté au réseau électrique. Il permet de charger les batteries alimentant l'onduleur ;
- d'un **dispositif de stockage d'énergie** (batteries d'accumulateurs, volant d'inertie, super-condensateurs…le dispositif le plus communément rencontré étant la batterie d'accumulateurs) ;
- d'un **onduleur ou convertisseur** de courant continu en courant alternatif (DC/AC) destiné à la charge. Ce convertisseur statique est également appelé **mutateur**.

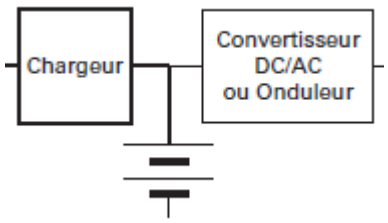


Figure 4: Schéma de principe d'un ASI

En cas de défaillance du réseau d'alimentation électrique, l'ASI prend directement le relais pour assurer l'alimentation des charges critiques prioritaires jusqu'à :

- la fin de la durée d'autonomie du dispositif de stockage d'énergie ;
- ou la reprise de l'alimentation par le réseau (fonctionnement normal) ;
- ou la prise en charge de l'alimentation par un ou plusieurs groupes électrogènes. Ainsi un groupe électrogène peut être relié à une alimentation sans interruption pour subvenir aux besoins électriques en cas d'arrêt prolongé de l'alimentation électrique.

La communication entre les ASI et la charge est primordiale pour assurer une transition d'alimentation efficace et pour gérer la puissance d'alimentation délivrée à la charge de manière optimale (gestion de la priorité des charges, gestion de la performance des ASI). Des systèmes de supervision (applications logicielles) permettent la gestion des paramètres de contrôle (états, mesures, alarmes) d'une ASI. Il est aussi possible de raccorder le système au réseau téléphonique commuté (RTC) via un modem pour une gestion à distance.

4.2.1.2 BATTERIES D'ACCUMULATEURS

Les onduleurs sont alimentés par une source continue d'électricité en cas de défaillance du réseau d'alimentation : les batteries d'accumulateurs. Ces équipements sont essentiels pour assurer la continuité d'alimentation.

Les batteries utilisées pour des ASI sont souvent de type plomb étanche régulée par une soupape de sécurité. Elles ont pour avantage de :

- ne demander aucun entretien (recombinaison interne de gaz) ;
- ne demander aucun travaux d'aération (faible ventilation nécessaire calculée suivant la norme EN 50272-2) ;
- pouvoir atteindre des courants élevés ;
- fonctionner en intermittence (pas d'effet mémoire des batteries), une espérance de vie est spécifiée par le constructeur : 5 à 6 ans pour un maintien maximum des performances.

Toutefois, le temps de stockage de la batterie est limité. En effet, dans le cas d'un taux d'autodécharge de 10% par mois (batterie plomb-acide), il convient de ne pas dépasser un délai de 6 mois de stockage hors-tension afin d'éviter une perte de capacité irréversible.

4.2.2 MODES DE FONCTIONNEMENT DES ASI

Les systèmes d'ASI sont catégorisés suivant leur état en fonctionnement normal : en attente passive, en interaction avec le réseau ou à double-conversion. Ces modes sont décrits dans les paragraphes suivants. Le mode sera choisi en fonction des exigences de la charge à secourir.

4.2.2.1 ASI EN ATTENTE PASSIVE (PASSIVE STANDBY UPS OU OFF-LINE)

Dans ce mode de fonctionnement, la charge est alimentée en situation normale par le réseau par la voie principale tandis que l'ASI est isolé par l'interrupteur de sortie (cf. Figure 5).

Lors d'une défaillance du réseau d'alimentation, l'onduleur (convertisseur DC/AC) convertit l'alimentation continue provenant des batteries, préalablement chargées par le chargeur (redresseur) connecté au réseau, en courant alternatif et assure ainsi l'alimentation de la charge.

L'interrupteur de sortie permet le basculement sur la deuxième voie (temps de basculement de l'ordre de 10 ms).

Un régulateur de tension peut être installé sur la voie principale pour obtenir une meilleure efficacité (meilleure précision en tension en sortie de l'interface) et permettra une plus grande variation de tension en alimentation [3]. Ce système, appelé aussi AVR (Automatic Voltage Regulator), agit comme un circuit de filtrage et de stabilisation.

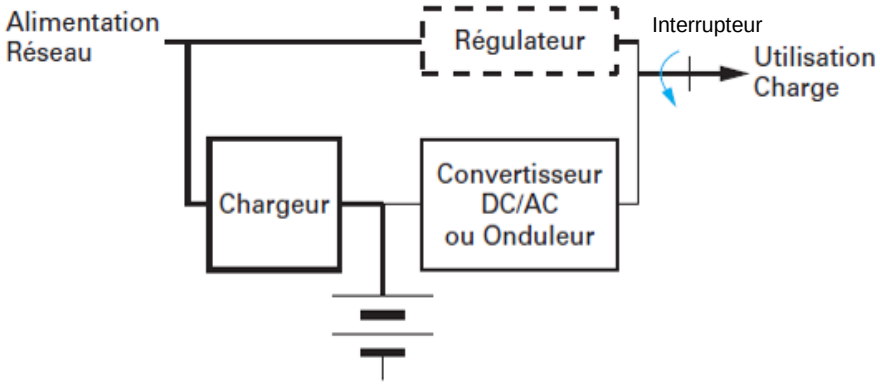


Figure 5: ASI en attente passive [3]

Cette solution technologique conviendra pour une charge tolérant le risque de perturbation en fréquence de l'alimentation électrique (aucune régulation de fréquence intégrée), un temps de basculement de l'interrupteur de 10 ms et à de faibles puissances (inférieures à 2 kVA).

4.2.2.2 ASI EN INTERACTION AVEC LE RÉSEAU (LINE-INTERACTIVE UPS)

Dans ce mode de fonctionnement, l'interrupteur permettant de basculer entre les deux sources d'alimentation est supprimé (cf. Figure 6).

Le convertisseur DC/AC en parallèle de l'alimentation réseau alimente la charge en cas de défaillance du réseau électrique. Il est connecté en continu au réseau ; il assure alors la recharge et le maintien de la charge des batteries. Il doit être réversible en puissance [3].

Le contacteur statique permet l'isolement du réseau électrique en cas de défaillance de celui-ci.

Dans ces systèmes une impédance peut être mise en série sur le réseau pour assurer la régulation de la tension d'utilisation.

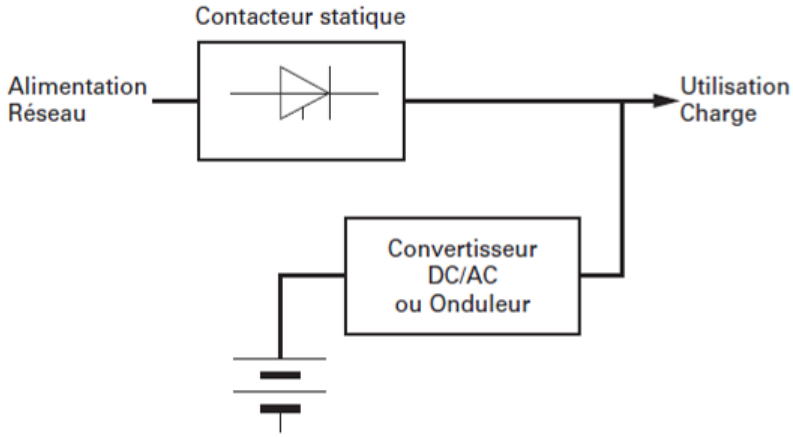


Figure 6 : ASI en interaction avec le réseau [3]

Comme pour les ASI en attente passive, aucune régulation de fréquence n'est effectuée. Ce système convient davantage pour des moyennes et fortes puissances.

4.2.2.3 ASI À DOUBLE CONVERSION (DOUBLE CONVERSION UPS / ON-LINE)

Ce système en série est actif en permanence (cf. Figure 7) : le courant alternatif du réseau est transformé en courant continu par le redresseur pour assurer en continu la charge des batteries alimentant l'onduleur qui lui-même transforme cette source de courant continu en courant alternatif pour alimenter la charge.

Ces dispositifs ont pour avantage de maîtriser les performances en tension et fréquence d'alimentation de la charge. Le profil du signal électrique de sortie est entièrement indépendant du signal d'entrée. De plus, aucun délai de permutation n'est nécessaire contrairement aux deux systèmes précédents.

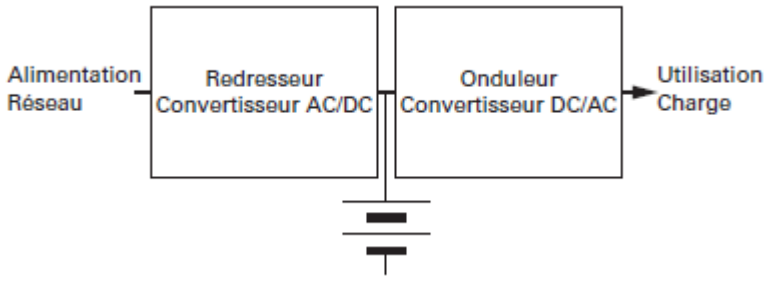


Figure 7 : ASI Double conversion [3]

Pour assurer une meilleure gestion du maintien de la charge de la batterie, des systèmes avec chargeur indépendant existent. Dans ce cas (cf. Figure 8), la batterie est connectée en cas de disparition du réseau.

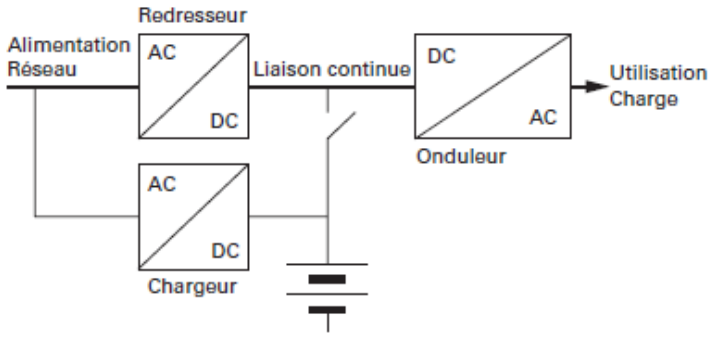


Figure 8 : ASI Double conversion avec chargeur indépendant [3]

Pour se prémunir des défaillances du système double-conversion, un by-pass du système double-conversion peut être mis en œuvre avec basculement sur le réseau principal en cas de défaillance de l'ASI.

Cependant, pour emprunter cette voie de secours, la charge devra accepter les variations transitoires de tension lors du basculement entre les deux voies et elle doit être compatible avec les variations de tension et de fréquence provenant de l'alimentation générale.

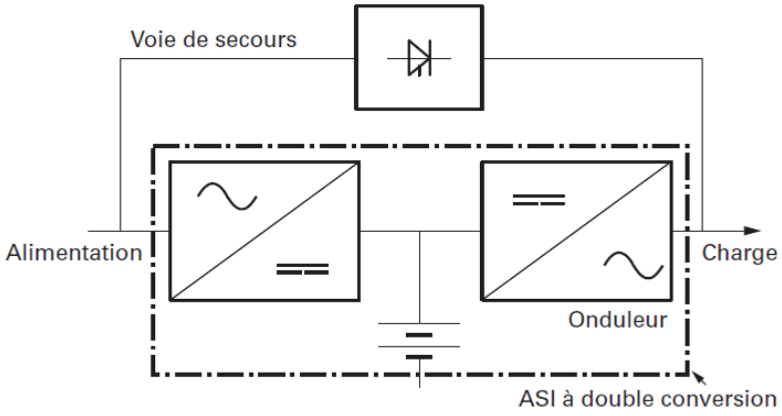


Figure 9 : ASI à double conversion avec une voie de secours parallèle [3]

Si la charge n'est pas compatible avec les variations de tension et de fréquence provenant de l'alimentation générale, une deuxième ASI peut être installée sur la voie de secours. Cette deuxième ASI est en attente et n'est utilisée qu'en cas de défaillance de la première ASI.

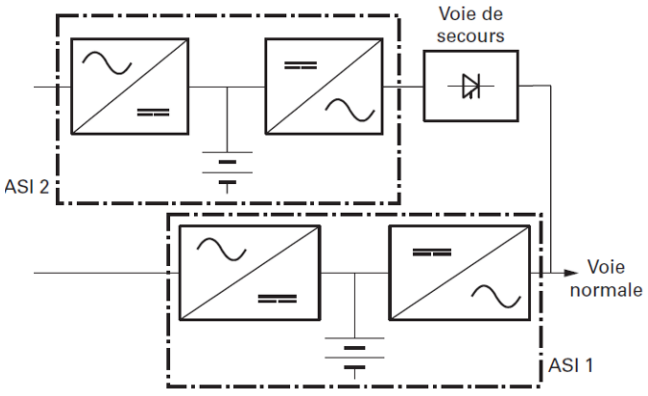


Figure 10 : ASI à double conversion en redondance séquentielle [3]

Il existe de nombreuses variantes de systèmes ASI double conversion. Des exemples de systèmes redondants sont présentés dans le document [3].

Un système d'ASI à double conversion présente de nombreux avantages et convient aux applications sensibles pour des moyennes et fortes puissances (plus de 10 kVA).

4.2.2.4 APPLICATIONS POSSIBLES

Le modèle d'ASI est choisi selon les exigences de l'utilisateur et la tolérance des équipements aux défaillances du réseau électrique.

Le Tableau 1 suivant présente les domaines d'application envisageables suivant ces critères.

En attente passive	**En interaction**	**Double conversion**
Ordinateur domestique Poste de travail Internet Standards téléphoniques Caisses enregistreuses Terminaux POS Fax Petit réseau d'éclairage de secours Automatisme industriel et domotique	Réseau d'ordinateurs d'entreprise Systèmes de sécurité Systèmes d'urgence Systèmes d'éclairage Automatisme industriel et domotique	Réseau informatique d'entreprise Télécommunications Électro-médical Automate industriel Systèmes de secours Protection des lignes dédiées Applications critiques dans les secteurs publics et industriels En aval de groupes électrogènes Toute autre application sensible aux interruptions d'alimentation

Tableau 1 : Domaines d'applications possibles suivant l'ASI [4]

4.2.3 SYSTÈMES DE GESTION DES BATTERIES

La fiabilité et la disponibilité des batteries reposent sur un état de fonctionnement optimal, un niveau de charge maximal permanent et leur connexion à l'onduleur et au dispositif de charge (chargeur ou redresseur).

Il existe aujourd'hui des systèmes de gestion intelligente des batteries mettant en places des algorithmes pour optimiser leur utilisation par un contrôle dynamique du courant en tension. La durée de vie est ainsi améliorée [4].

Des dispositifs de contrôle permettent de vérifier la disponibilité des batteries et d'alerter en cas de défaillance.

Il est souvent mis en place des fonctions automatiques de test et de monitoring sur :

- la liaison batteries-onduleur (connexion, fonctionnement) ;
- les batteries (niveau de charge, défaillances).

Des contrôles et des entretiens périodiques sur les batteries restent néanmoins nécessaires (cf. 1).

5. CRITERES D'ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE

5.1 INDÉPENDANCE

L'alimentation électrique de secours doit être indépendante de l'événement pouvant conduire à la sollicitation ; autrement dit ses performances ne doivent pas être dégradées par l'occurrence de l'événement initiateur.

Dans les cas où les événements initiateurs sont extérieurs au système (inondation, incendies…), cette indépendance est assurée par un positionnement adapté (cf. 5.2).

Lorsque l'alimentation est utilisée pour secourir plusieurs barrières d'un même scénario, leur niveau de confiance est limité par la défaillance de l'alimentation commune.

5.2 EFFICACITÉ

L'efficacité est l'aptitude du système d'alimentation de secours à remplir sa fonction de sécurité dans son contexte d'utilisation et pendant une durée de fonctionnement définie.

L'évaluation de ce critère de performance se réalise au regard :

- des scénarios de référence utilisés lors de la conception du système d'alimentation ;
- du retour d'expérience (documents avec une traçabilité suffisante de l'utilisation sur site, rapports d'essais) ;
- lors d'essais destinés à vérifier l'efficacité du système dans son contexte d'utilisation.

L'analyse de l'efficacité du système de secours repose sur les principes suivants :

- Un **dimensionnement adapté** : La définition du système de secours (puissance, caractéristiques techniques) répond aux contraintes imposées dans le cahier des charges réalisé sur la base de conditions de fonctionnement définies dans les scénarios de référence. Les paramètres suivants sont à prendre en compte : puissance de la charge, tolérance à la qualité du signal électrique (variations de tension, fréquence et ondes), temps de reprise minimal. La durée de secours est également à considérer et dépend de facteurs tels que la capacité de fioul, l'autonomie des batteries, le raccordement éventuel des ASI au réseau secouru, etc. Le système est conçu à partir des normes et standards reconnus. Des éléments sur les exigences du réseau électriques nécessaires lors du dimensionnement sont présentés au paragraphe 3.
- La **résistance aux contraintes spécifiques** par la prise en compte du risque naturel (foudre, sismique, inondations), des conditions météorologiques, des conditions d'exploitation (température ambiante de fonctionnement). Le système d'alimentation de secours doit être conçu pour fonctionner en situation normale et en situation dégradée.

- Le **positionnement** : l'emplacement de ces systèmes doit être défini stratégiquement de manière à optimiser son aptitude à remplir sa fonction de sécurité. Selon la taille du site industriel et la puissance à fournir à la charge, l'alimentation de secours peut être centralisée ou non. L'évaluation des causes communes de défaillance est primordiale pour déterminer le positionnement le plus adapté (cf. 5.1). Enfin, les mesures de protection contre le risque naturel peuvent nécessiter un emplacement particulier, par exemple placer les installations en hauteur pour se protéger du risque inondation.

5.3 TEMPS DE RÉPONSE

Le temps de reprise (ici défini comme le temps de réponse) correspond à l'intervalle de temps entre la perte (partielle ou totale) du réseau et la fourniture effective d'électricité par groupe électrogène ou ASI.

Pour un groupe électrogène, le temps de réponse correspond à l'intervalle de temps entre l'ordre de démarrage du groupe suite à la détection de la défaillance du réseau d'alimentation normal jusqu'à la fermeture du disjoncteur.

Selon la tolérance à la défaillance du réseau électrique de l'application, le système d'alimentation de secours est défini pour fonctionner dans un temps de reprise adapté aux exigences (Cf. Tableau 2). Si la charge ne tolère aucune défaillance de l'alimentation électrique, une ASI sera nécessaire pour assurer la transition avec un éventuel basculement vers les groupes électrogènes.

Système	Charge tolérante à la défaillance du réseau électrique ?	Temps de reprise	Remarques
1 Groupe électrogène à démarrage manuel	Oui	**> 15 secondes**	Temps de réaction de l'opérateur + temps de démarrage du groupe
1 Groupe électrogène à démarrage automatique	Oui	**8-15 secondes**	Temps de démarrage du groupe
Plusieurs groupes électrogènes	Oui	**8-15 secondes**	Temps de démarrage automatique d'un seul groupe électrogène capable d'alimenter la charge
1 Groupe électrogène + ASI	Non	**150 ms**	L'ASI assure l'alimentation électrique le temps que le groupe électrogène soit opérationnel.
Plusieurs groupes électrogènes + ASI	Non	**150 ms**	L'ASI assure l'alimentation électrique le temps que les groupes électrogènes (ou un nombre minimal suffisant) soient opérationnels.
ASI en attente passive	Non	**10 ms**	L'ASI assure l'alimentation après basculement de l'interrupteur
ASI en interaction avec le réseau ou double conversion	Non	**Immédiat**	L'ASI est connecté en permanence à la charge

Tableau 2: Comparaison des temps de reprise suivant le système d'alimentation de secours

Il est rappelé que les essais restent le meilleur moyen de vérifier le temps de réponse et de vérifier la performance du système d'alimentation de secours.

La fermeture du disjoncteur de sortie du système d'alimentation de secours se réalise une fois la synchronisation en fréquence et tension effectuée. Le temps de reprise de ce mode de commutation est estimé à 150 ms (intervalle au cours duquel le disjoncteur se ferme, sinon la commutation à tension résiduelle doit prendre le relais pour rétablir l'alimentation électrique).

L'application de la charge au groupe électrogène s'effectue dans des conditions de tension et de fréquence adaptées au site industriel. Le temps de reprise de la charge dépend :

- de la méthode et de la procédure de couplage au réseau ;
- de l'adéquation de la puissance nominale du groupe avec la charge ;
- de l'inertie des masses tournantes (moteur, alternateur, accouplement) ;
- de la régulation de la vitesse du moteur pour fournir une fréquence constante (régulateur PID (proportionnel/intégral/dérivé), fonctionnement isochrone ou statique) ;
- du système d'alimentation air-comburant (moteurs diesel) : la puissance maximale délivrée dépend du type de système choisi (moteur à aspiration naturelle, moteur suralimenté).

Ainsi, un dimensionnement adapté du groupe électrogène est réalisé en adéquation avec les conditions de relestage de la charge [1].

5.4 NIVEAU DE CONFIANCE

L'analyse des risques réalisée sur les installations et utilisée lors de la définition des scénarios de référence permet d'établir les exigences de sécurité et le niveau de confiance exigé pour ce maillon de la chaîne de sécurité. Il faudra s'assurer que les alimentations de secours mises en œuvre permettent de répondre à ces exigences.

Le retour d'expérience sur les alimentations de secours (cf. annexes 3 et 4) montre que les alimentations de secours ont une fiabilité relativement limitée et peuvent difficilement prétendre à un NC supérieur à 1, en l'absence de redondance :

- Les causes de défaillance des groupes électrogènes sont multiples et concernent l'ensemble des parties constituant le groupe (circuit de démarrage, moteur, circuit de lubrification, défaut de connexion au réseau électrique, etc…) ;
- Les causes de défaillance des ASI concernent surtout les défauts de batteries (niveau de charge, défaillances), les liaisons batteries-onduleur…

Une évaluation conformément au référentiel Oméga 10 permettra de préciser le NC. Les exigences minimales de l'Omega 10 devront être respectées. Un NC1 pourra alors être retenu lorsque les exigences d'indépendance, d'efficacité, de temps de réponse et de tests/maintenance sont remplies.

Un NC2 pourra être retenu si l'architecture des systèmes d'alimentation de secours retenue est redondante (architecture 1oo2). Une analyse des modes communs devra être réalisée pour valider le NC2.

6. ENTRETIEN ET MAINTENANCE

L'exploitant doit pouvoir assurer la disponibilité et la fiabilité de ses installations. Les opérations de maintenance et de vérification seront réalisées conformément à la règlementation et aux recommandations effectuées par le fournisseur. Un registre de contrôle permettra de tracer les opérations effectuées.

Une maintenance adaptée demande :

- une bonne connaissance des équipements ;
- la prise en compte des recommandations du constructeur ;
- la prise en compte du retour d'expérience (défaillances constatées) ;
- des mesures adaptées à la configuration du site industriel ;
- des mesures adaptées au mode d'exploitation.

Des exigences réglementaires sont présentées dans le document [5].

6.1 ENTRETIEN D'UN GROUPE ÉLECTROGÈNE

Pour un groupe électrogène de secours, la fréquence des vérifications peut se définir, en accord avec les recommandations des constructeurs, suivant le nombre d'heures de fonctionnement par année comme suit [6] :

- < 100 heures/an : 1 vérification complète annuelle ;
- < 500 heures/an : 3 vérifications complètes annuelles.

Il est conseillé de réaliser un essai en charge mensuellement pendant une durée d'environ 1 heure après la stabilisation des paramètres de contrôle. La charge devra être supérieure à 50% de la puissance nominale (80% idéalement pour un décrassage efficace du moteur) afin d'obtenir un aperçu correct du fonctionnement réel du groupe électrogène. Les essais à vide ne sont pas recommandés et ne doivent pas excéder 10 min ni être répétés sans essais mensuels de charge. L'essai sans charge permet seulement de contrôler le bon démarrage du moteur sans vérifier le fonctionnement intégral du groupe électrogène [6].

Parmi toutes les vérifications techniques (mécaniques et électriques) recommandées par le constructeur, les points suivants requièrent une attention spécifique :

- les paramètres de contrôle (vérification et réglage) :
  - maintien de la température de l'eau de refroidissement à température constante lorsque le groupe est arrêté,
  - contrôle de la température de l'huile,
  - vérification du niveau d'huile, d'eau et de combustible, du dispositif de réchauffage du moteur et de l'état de la source utilisée pour le démarrage tous les 15 jours par un agent qualifié.
- le relevé des paramètres par le système de contrôle-commande et notamment la surveillance du système de démarrage ;
- les tâches d'entretien courant (lubrification).

6.2 ENTRETIEN D'UN SYSTÈME D'ALIMENTATION SANS INTERRUPTION (ASI)

Des opérations de maintenance préventive (batteries, ventilateurs, condensateurs chimiques), en accord avec les recommandations des constructeurs, sont nécessaires pour assurer une durée de vie optimale aux différents composants de l'ASI.

Des précautions liées à la technologie des batteries sont à considérer pour assurer leur durée de vie :

- Conditions de température : plage de température (15-25°C) à respecter (grande sensibilité aux températures extrêmes) ;
- Mode d'utilisation : la durée et l'intensité des charges/décharges ont un impact direct sur la performance des batteries ;
- La qualité du courant : des valeurs de courant extrêmes peuvent endommager les batteries ;
- Toute batterie déchargée doit être rechargée pour éviter un phénomène irréversible de perte de capacité. En cas de stockage, il est nécessaire de recharger les batteries régulièrement (par exemple tous les 6 mois en cas d'autodécharge de 10% par mois) pour pallier la question de l'autodécharge des batteries. En cas d'arrêt prolongé de l'ASI, il convient d'ouvrir le circuit de la batterie pour éviter toute décharge.

Il semble difficile et peu réaliste de fixer des périodes de révision aussi rapprochées que pour les groupes électrogènes. En pratique, il est retenu que la périodicité des tests de vérification comprenant une vérification des batteries et un test d'autonomie doit être au maximum annuel (selon [4]).

Le contrôle du vieillissement des batteries s'effectue pour chaque élément (blocs en série de 2V, 6V ou 12V).

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] « Groupes électrogènes de secours ». COLIN. Techniques de l'Ingénieur. 1998.

[2] « Génération électrique intégrée aux sites industriels et bâtiments commerciaux ». HAZEL. Cahier technique n°196. Schneider Electric.

[3] « Alimentations statiques sans interruption (ASI) ». MABBOUX. Techniques de l'Ingénieur. 2001

[4] « Alimentations sans interruption (ASI) ». Legrand. Guide technique. 2012.

[5] « Principales vérifications périodiques », FERREIRA. INRS. ED 828. Octobre 2011

[6] Manuel d'entretien et de vérification du groupe électrogène SDMO 36 828. 2010.

8. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Règlementations et normes applicables	7
Annexe 2	Accidentologie et retour d'expérience sur les pertes d'alimentation électrique	3
Annexe 3	Éléments de fiabilité des alimentations de secours	5

Annexe 1

REGLEMENTATIONS ET NORMES APPLICABLES

Cette annexe présente des normes applicables aux alimentations de secours : groupes électrogènes et alimentations sans interruption. Puis les exigences sur les alimentations de secours issues de réglementations ERP sont présentées.

1. TEXTES APPLICABLES AUX GROUPES ÉLECTROGÈNES

1.1 NF ISO 8528 : GROUPES ÉLECTROGÈNES À COURANT ALTERNATIF ENTRAÎNÉS PAR MOTEURS ALTERNATIFS À COMBUSTION INTERNE.

NF ISO 8528-1 (Avril 2018) Groupes électrogènes à courant alternatif entraînés par moteurs alternatifs à combustion interne. Partie 1 : Application, caractéristiques et performances.

NF ISO 8528-2 (Octobre 2018) Groupes électrogènes à courant alternatif entraînés par moteurs alternatifs à combustion interne. Partie 2 : Moteurs.

NF ISO 8528-3 (Octobre 2005) Groupes électrogènes à courant alternatif entraînés par moteurs alternatifs à combustion interne. Partie 3 : alternateurs pour groupes électrogènes.

NF ISO 8528-4 (Novembre 2005) Groupes électrogènes à courant alternatif entraînés par moteurs alternatifs à combustion interne. Partie 4 : Appareillage de commande et de coupure.

NF ISO 8528-5 (Juin 2013) Groupes électrogènes à courant alternatif entraînés par moteurs alternatifs à combustion interne. Partie 5 : Groupes électrogènes.

NF ISO 8528-6 (Novembre 2005) Groupes électrogènes à courant alternatif entraînés par moteurs alternatifs à combustion interne. Partie 6 : Méthodes d'essai.

NF ISO 8528-7 (Octobre 2017) Groupes électrogènes à courant alternatif entraînés par moteurs alternatifs à combustion interne. Partie 7 : Déclaration techniques pour la spécification et la conception.

ISO 8528-8 (Juillet 2016) Groupes électrogènes à courant alternatif entraînés par moteurs alternatifs à combustion interne. Partie 8 : Prescriptions et essais pour groupes électrogènes de faible puissance.

ISO 8528-9 (Octobre 2017) Groupes électrogènes à courant alternatif entraînés par moteurs alternatifs à combustion interne. Partie 9 : Mesurage et évaluation des vibrations mécaniques.

NF ISO 8528-10 (Octobre 1999) Groupes électrogènes à courant alternatif entraînés par moteurs alternatifs à combustion interne. Partie 10 : Mesurage du bruit aérien par la méthode de la surface enveloppe.

NF EN 88528-11 (Avril 2005) Groupes électrogènes à courant alternatif entraînés par moteurs alternatifs à combustion interne. Partie 11 : Alimentations sans interruption à accumulation d'énergie cinétique – Prescriptions de performances et méthodes d'essai.

ISO 8528-12 (Juillet 2016) Groupes électrogènes à courant alternatif entraînés par moteurs alternatifs à combustion interne. Partie 12 : Alimentation électrique de secours de services de sécurité.

ISO 8528-13 (Juillet 2016) Groupes électrogènes à courant alternatif entraînés par moteurs alternatifs à combustion interne. Partie 13 : Sécurité.

1.2 NF E37-312 (MAI 2009) GROUPES ÉLECTROGÈNES À COURANT ALTERNATIF ENTRAÎNÉS PAR MOTEURS ALTERNATIFS À COMBUSTION INTERNE. GROUPES ÉLECTROGÈNES UTILISABLES EN TANT QUE SOURCE DE SÉCURITÉ POUR L'ALIMENTATION DES INSTALLATIONS DE SÉCURITÉ (GSS).

Cette norme reprend notamment les dispositions de la norme NF ISO 8528-1 à la norme NF ISO 8528-7.

1.3 AUTRES NORMES APPLICABLES RELATIVES AUX GROUPES ÉLECTROGÈNES

La norme NFS 61-940 (2000) définit une alimentation électrique de sécurité (AES) comme un « dispositif qui fournit l'énergie électrique à tout ou partie d'un système de mise en sécurité incendie (SMSI) afin de lui permettre d'assurer ses fonctions aussi bien en marche normale qu'en marche en sécurité ». Cette norme vise les AES à batteries d'accumulateurs ou les groupes électrogènes alimentant les systèmes de sécurité incendie.

NF S61-940 (Juin 2000) Systèmes de Sécurité Incendie (S.S.I) – Alimentations Électriques de Sécurité (A.E.S) – Règles de conception.

Cette norme répond à l'exigence de l'article 6 - §2 de l'arrêté du 26 février 2003.

NF C15-100 COMPIL 5 (Juin 2015) Installations électriques de basse tension.

Norme d'application obligatoire.

UTE C15-401 (Janvier 2004) Installations électriques à basse tension – Guide pratique – Groupes électrogènes – Règles d'installation.

Pour les installations ferroviaires :

NF F48-110 (Décembre 1995) Installations fixes ferroviaires - Alimentations modulaires pour installations de signalisation, de télécommunications et d'informatique - Équipements des groupes électrogènes à moteur diesel.

Enfin, il existe d'autres normes moins spécifiques aux groupes électrogènes :

IEC 62271-100/A2 : 2017 : Appareillage à haute tension – Partie 100 : disjoncteurs à courant alternatif.

IEC 60255 : Relais électriques.

IEC 62271-200 : 2011 : Appareillage à haute tension - Partie 200 : appareillage sous enveloppe métallique pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV.

IEC 61439-1 : Ensembles d'appareillage à basse tension – Règles générales

ISO 3046 : Moteurs alternatifs à combustion interne.

2. TEXTES APPLICABLES AUX ALIMENTATIONS SANS INTERRUPTION (ASI)

2.1 NF EN 62040 : ALIMENTATION SANS INTERRUPTION (ASI)

NF EN 62040-1 (2009) : Alimentation sans interruption (ASI). Partie 1 : exigences générales et règles de sécurité pour les ASI.

Puis modifiée par NF EN 62040-1 / A1 (Octobre 2013) : Alimentation sans interruption (ASI). Partie 1 : exigences générales et règles de sécurité pour les ASI.

NF EN 62040-2 (Juin 2006) : Alimentation sans interruption (ASI). Partie 2 : Exigences pour la compatibilité électromagnétique.

NF EN 62040-3 (Mars 2012) : Alimentation sans interruption (ASI). Partie 3 : Méthodes de spécification des performances et procédures d'essai.

NF EN 62040-4 (Février 2014) : Alimentation sans interruption (ASI). Partie 4 : Aspects environnementaux – Exigences et déclaration.

2.2 AUTRES NORMES APPLICABLES RELATIVES AUX ASI

Pour les ASI à accumulation d'énergie cinétique :

NF EN 88528-11 (Avril 2005) Groupes électrogènes à courant alternatif entraînés par moteurs alternatifs à combustion interne. Partie 11 : Alimentations sans interruption à accumulation d'énergie cinétique – Prescriptions de performances et méthodes d'essai.

NF C53-228 (Décembre 1989) Convertisseurs à semi-conducteurs - Interrupteurs pour alimentations sans interruption (interrupteurs d'ASI).

NF C15-100 COMPIL 5 (Juin 2015) : Installations électriques à basse tension.

UTE C15-402 (Novembre 2004) : Installations électriques à basse tension. Guide pratique – Alimentation sans interruption (ASI) de type statique et système de transfert statique (STS)-Règles d'installation.

NF EN 45510-2-2 (Novembre 1999) Guide pour l'acquisition d'équipements destinés aux centrales de production d'électricité - Partie 2 : Équipements électriques - Section 2 : alimentations sans interruption.

La norme NFS 61-940 (2000) définit une alimentation électrique de sécurité (AES) comme un « dispositif qui fournit l'énergie électrique à tout ou partie d'un système de mise en sécurité incendie (SMSI) afin de lui permettre d'assurer ses fonctions aussi bien en marche normale qu'en marche en sécurité ». Cette norme vise les AES à batteries d'accumulateurs ou les groupes électrogènes alimentant les systèmes de sécurité incendie :

NF S61-940 (Juin 2000) Systèmes de Sécurité Incendie (S.S.I) – Alimentations Électriques de Sécurité (A.E.S) – Règles de conception.

D’après cette norme, une Alimentation Électrique de Sécurité (AES) à batterie d’accumulateurs comprend en éléments regroupés ou séparés :

- une batterie d’accumulateurs électriques ;
- un dispositif assurant, à l’état de marche normale, la charge puis le maintien de la charge de la batterie d’accumulateurs ;
- un dispositif assurant le passage automatique de l’état de marche normale à l’état de marche en sécurité ;
- des organes de signalisation et de commande ;
- un Dispositif de Limitation de Décharge (DLD) entraînant la mise automatique à l’état d’arrêt, en fin de décharge de la batterie.

Une AES à batterie d’accumulateurs est caractérisée par :

- la (les) tension(s) nominale(s) d’alimentation et ses (leurs) fréquences acceptables en entrée ;
- les caractéristiques nominales de la (des) tension(s) de sortie : valeur de la tension et de la fréquence (pour les alimentations alternatives) ;
- le schéma des liaisons à la terre ;
- la puissance assignée ;
- la durée d’autonomie assignée ;
- le type de batterie utilisée (ouverte ou fermée).

Pour les batteries :

NF EN 60896-21 (Juin 2004) Batteries stationnaires au plomb - Partie 21 : types étanches à soupapes - Méthodes d'essais.

NF EN 60896-22 (Juin 2004) Batteries stationnaires au plomb - Partie 22 : types étanches à soupapes – Exigences. -

NF EN 62477-1 (Février 2013) Exigences de sécurité applicables aux systèmes et matériels électroniques de conversion de puissance - Partie 1 : généralités.

NF EN 62310-3 (Novembre 2008) Systèmes de transfert statique (STS) - Partie 3 : méthode de spécification des performances et exigences d'essai.

Enfin, il existe d’autres normes moins spécifiques aux ASI :

CEI 60146-1-1 (Avril 2011) : Convertisseurs à semiconducteurs - Exigences générales et convertisseurs commutés par le réseau - Partie 1-1 : spécification des exigences de base.

CEI/TR 60146-1-2 (Janvier 2011) : Convertisseurs à semi-conducteurs. Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau. Partie 1-2 : Guide d’application.

CEI 60146-1-3 (Mars 1991) : Convertisseurs à semi-conducteurs. Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau. Partie 1-3 : Transformateurs et bobines d’inductance.

CEI 60146-2 (Novembre 1999) : Convertisseurs à semi-conducteurs. Partie 2 : Convertisseurs autocommutés à semi-conducteurs y compris les convertisseurs à courant continu directs

CEI 60146-6 (Décembre 1992) : Convertisseurs à semi-conducteurs. Partie 6 : Guide d'application pour la protection par fusibles des convertisseurs contre les surintensités.

CEI 60364-1 (Novembre 2005) : Installations électriques des bâtiments-Partie 1 : Principes fondamentaux, détermination des caractéristiques générales, définitions.

CEI 60529 COMPIL :2013 (Aout 2013) : Degrés de protection procurés par les enveloppes (code IP).

3. RÈGLEMENTATION DES SYSTÈMES D'ALIMENTATION DE SECOURS POUR LES ERP

Arrêté du 19 novembre 2001 portant approbation de dispositions complétant et modifiant le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public

Article EL7 : Implantation des groupes électrogènes

§3. Les locaux où sont installés les moteurs, quelle que soit la puissance de ces derniers, doivent être largement ventilés vers l'extérieur.

§4. a) Lorsque le combustible utilisé est liquide, l'aménagement du local et l'alimentation en combustible doivent respecter les dispositions suivantes

- le sol du local doit être imperméable et former une cuvette étanche, le seuil des baies étant surélevé d'au moins 0,10 mètre et toutes dispositions doivent être prises pour que le combustible accidentellement répandu ne puisse se déverser par les orifices placés dans le sol ;
- si le local est en sous-sol, il doit être desservi par un conduit coupe-feu de degré 1 heure débouchant à l'extérieur, au niveau du sol, permettant la mise en œuvre du matériel de ventilation des sapeurs-pompiers, et fermé à l'aide d'un dispositif démontable sans outillage ;
- les canalisations de combustible doivent être fixes, étanches et rigides ; elles peuvent être souples dans la partie liaison au groupe ;
- si une nourrice en charge alimente les moteurs, elle doit être munie :
  - d'une tuyauterie de trop-plein de section au moins double de celle de la tuyauterie d'alimentation, sans point haut,
  - d'un ou plusieurs évents,
  - d'indicateurs de niveau résistant aux chocs et aux variations de température.
- le réservoir principal doit être en contrebas de la nourrice ou, s'il n'en existe pas, du moteur ; si la disposition précédente est impossible, l'alimentation du moteur doit être assurée par une tubulure en partie supérieure du réservoir et pourvue d'un dispositif antisiphon doublé d'un second dispositif à commande manuelle ;

- un dispositif de coupure rapide de l'alimentation en combustible doit être placé à l'extérieur du local ;
- un dépôt d'au moins 100 litres de sable et une pelle ainsi que des extincteurs portatifs pour feux de classe B1 ou B2 au moins doivent être conservés au voisinage immédiat de la porte d'accès.

b) Lorsqu'il s'agit de combustible liquide de première catégorie (point d'éclair inférieur à 55 °C), la quantité de combustible autorisée dans la salle des moteurs est limitée à 15 litres si l'alimentation de ces derniers est faite par gravité et à 50 litres si elle est assurée par une pompe à partir d'un réservoir placé en contrebas des moteurs. En aucun cas, le remplissage des réservoirs placés dans la salle des moteurs ne doit être assuré automatiquement.

c) Lorsqu'il s'agit de combustible liquide de deuxième catégorie (point d'éclair supérieur ou égale à 55 °C et inférieur à 100 °C), la quantité de combustible autorisée dans la salle des moteurs est limitée à 500 litres en réservoirs fixes. Si la quantité de combustible stocké est supérieure à cette valeur, le stockage doit s'effectuer dans un local spécial répondant aux dispositions des articles CH 15, CH 16 et CH 17.

§ 5. Lorsque le combustible utilisé est gazeux, l'installation doit répondre au chapitre VI du présent titre

§ 6. Les gaz de combustion doivent être évacués directement sur l'extérieur par des conduits qui doivent être réalisés en matériaux incombustibles, être étanches et placés dans une gaine de degré coupe-feu égal au degré de stabilité au feu du bâtiment.

Article EL 8 : Batteries d'accumulateurs et matériels associés (chargeurs, onduleurs).

§ 1. Les batteries d'accumulateurs et les matériels associés qui alimentent des équipements autres que ceux des installations de sécurité doivent être installés dans un local de service électrique qui peut être ordinaire.

Toutefois :

- ils peuvent être placés dans un local non accessible au public si le produit CU de la capacité en ampères-heures par la tension de décharge en volts est inférieur ou égal à 1000, et, pour les batteries dont le produit CU est supérieur à 1 000, si celles-ci sont placées dans une enveloppe dont l'ouverture n'est autorisée qu'au personnel chargé de leur entretien et de leur surveillance ;
- ils peuvent être placés dans un local quelconque si le produit CU des batteries est inférieur ou égal à 1 000 et, si celles-ci sont placées dans une enveloppe répondant à la condition précédente ; les alimentations sans interruption (ASI) d'une puissance inférieure ou égale à 3,5 kVA peuvent être installées dans les mêmes conditions.

§ 2. Les batteries d'accumulateurs et les matériels associés qui alimentent les installations de sécurité doivent être installés dans un local de service électrique répondant aux dispositions de l'article EL 5 et isolé dans les conditions du § 3 (b) de cet article.

Ce local doit être réservé à l'installation de batteries d'accumulateurs et de leurs matériels associés.

Une batterie d'accumulateurs, n'alimentant qu'un matériel du système de sécurité incendie (SSI) et dont le produit CU est inférieur ou égal à 1 000 peut être soit implantée dans ce matériel, soit installée dans le même local.

§ 3. Le local ainsi que l'enveloppe éventuelle contenant les batteries d'accumulateurs doivent être ventilées dans les conditions définies dans l'article 554-2 de la norme NF C 15-100.

Lorsque les batteries d'accumulateurs alimentent des installations de sécurité, la coupure de l'alimentation des dispositifs de charge doit être signalée au tableau de sécurité concerné visé à l'article EL 15.

§ 4. Les batteries de démarrage des groupes électrogènes ainsi que leur dispositif de charge peuvent être installés dans le même local que le groupe.

Annexe 2

ACCIDENTOLOGIE ET RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES PERTES D'ALIMENTATION ELECTRIQUE

Cette annexe présente un retour d'expérience sur les pertes d'alimentations électriques.

1. REVUE ACCIDENTOLOGIQUE

1.1 REVUE GÉNÉRALE DU BARPI

La revue accidentologique réalisée par le BARPI disponible sur la base de données ARIA[1] montre que les pertes d'alimentation électrique peuvent :

- provenir de travaux sur les lignes, d'endommagement des câbles, des aléas naturels (neige, vent, inondations, foudre, etc.) ;
- provoquer des dysfonctionnements en cascade allant jusqu'à l'arrêt complet des installations ;
- impacter les équipements de traitement des rejets gazeux ou des effluents et entraîner des rejets accidentels polluants ;
- mener à des phénomènes dangereux (incendie, explosion, rejets de produits dangereux) ;
- entraîner des phases de redémarrage des unités délicates à gérer et souvent mal maîtrisées pouvant provoquer des sur-accidents.

Des mesures de prévention et de protection contre ces défaillances sont mises en place par l'exploitant à travers :

- la conception et l'architecture des réseaux électriques ;
- des plans de protection de ces réseaux ;
- des systèmes de surveillance et de contrôle ;
- des systèmes d'alimentation de secours.

L'objectif des systèmes d'alimentation de secours est de sécuriser les installations sensibles en les secourant prioritairement. Cependant, des dysfonctionnements ont pu être recensés :

- basculement vers les alimentations de secours non réalisé (circuit de commande défaillant) ;
- batteries et moteurs de secours ne démarrant pas dans le temps imparti voire pas du tout (pannes ou manipulations antérieures erronées),
- erreur dans la configuration du réseau :
  - alimentation de secours sous-dimensionnée,
  - temporisation inadaptée,
  - interface avec le réseau externe défaillante.

[1] « Perturbations d'alimentation électrique ». BARPI.

L'étude menée par le BARPI conclut sur la nécessité :

- d'identifier de manière préventive les conséquences des défaillances de l'alimentation électrique sur les différentes fonctions de sécurité et notamment sur les équipements critiques ;
- de définir les équipements prioritaires selon différents scénarios de puissance électrique disponible après démarrage effectif ou non des moyens de secours ;
- de tester et entretenir régulièrement les systèmes d'alimentation de secours par un personnel compétent ;
- de prévoir les procédures et la formation des opérateurs susceptibles d'intervenir sur ces équipements (fonctionnement normal et fonctionnement dégradé).

1.2 ILLUSTRATION D'UN ACCIDENT MAJEUR LIÉ À LA DÉFAILLANCE DES ALIMENTATIONS DE SECOURS : FUKUSHIMA

Le 11 mars 2011, un séisme au large des côtes du Japon prive la centrale nucléaire de Fukushima-Daiichi de ses alimentations électriques externes et provoque l'arrêt des réacteurs en service.

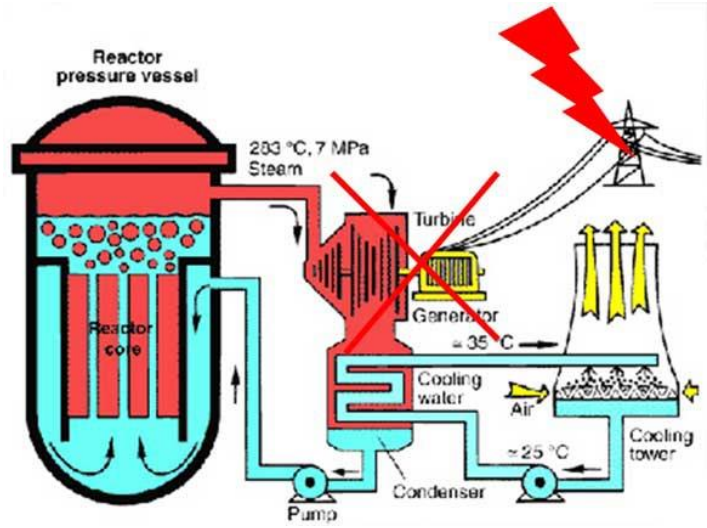


Figure 11: Perte des sources externes d'électricité

Les groupes électrogènes de secours démarrent alors pour alimenter les pompes de refroidissement du cœur des réacteurs nucléaires. Or, la vague du tsunami provoquée par le séisme noie les diesels de secours devenus inopérants. Le refroidissement du cœur des réacteurs n'est plus réalisé et la salle de commande n'est plus alimentée.

« Ces défaillances ont causé l'arrêt des systèmes de refroidissement de secours des réacteurs nucléaires ainsi que ceux des piscines de désactivation des combustibles irradiés. Le défaut de refroidissement des réacteurs a induit des fusions partielles des cœurs de trois réacteurs nucléaires puis d'importants rejets radioactifs. »[2]

Dans le cadre des actions post Fukushima pris avec l'Autorité de Sureté Nucléaire, EDF a lancé en 2013 une campagne de mise en place de diesels de secours : « chaque unité de production doit être équipée d'un nouveau diesel de secours » avant le 31 juin 2013. Ces groupes électrogènes de secours sont mis en redondance de l'alimentation générale. « Les Diesels d'Ultime Secours (DUS) doivent pouvoir fonctionner 36 h, le temps que les secours arrivent sur site avec leurs propres moyens d'alimentation de secours. Ils devront être implantés à 20 m du sol pour garantir leur tenue au sec en cas d'événement climatique. »[3]

[2] Site web de l'ASN dédié à l'analyse post-accidentel des accidents nucléaires majeurs. http://post-accidentel.asn.fr/Accident-de-Fukushima

[3] « Actions Post Fukushima : mise en place des diesels de secours ». EDF. Grand Angle +. 2013

Annexe 3

ELEMENTS DE FIABILITE DES ALIMENTATIONS DE SECOURS

Cette annexe présente éléments sur la fiabilité des alimentations de secours.

Elle présente :

- des données de retour d'expérience sur les groupes électrogènes,
- des informations sur la fiabilité des ASI.

1. RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR LES GROUPES ÉLECTROGÈNES

1.1 RETOUR D'EXPÉRIENCE DES GROUPES ÉLECTROGÈNES

Les groupes électrogènes sont des systèmes relativement complexes puisque réalisés avec des composants divers tels que moteur, alternateur, circuit de commande…

Les causes de dysfonctionnement sont donc multiples. Elles concernent :

- le circuit de démarrage qui peut être électrique ou pneumatique ;
- le moteur diesel ;
- le circuit de refroidissement ;
- le circuit de lubrification ;
- le système de contrôle commande ;
- le circuit de connexion sur le réseau électrique ;
- les défaillances liées à des opérations de maintenance ;
- les problèmes d'installation ;
- les conditions climatiques.

1.1.1 RETOUR D'EXPÉRIENCE EDF

Une étude de fiabilité réalisée par EDF sur les groupes électrogènes de secours sur les centrales nucléaires française EDF[4] permet de tirer certains enseignements. Les demandes d'interventions sur ces groupes électrogènes se répartissent de la façon suivante :

[4] Note technique AP913 Bilan système LHP-LHQ D455015032193 rev 0

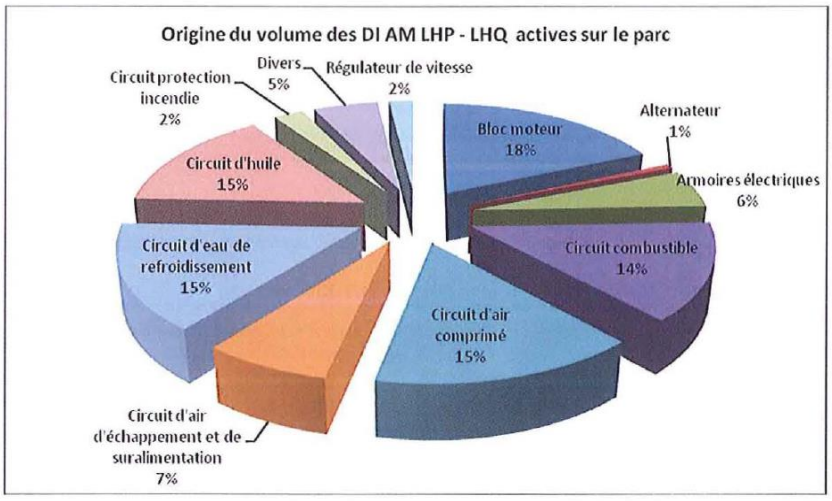


Figure 12: Répartition des demandes d'intervention en fonction des éléments des GE

Sur l'ensemble de ces demandes d'intervention, 40% ont été jugées critiques.

Une analyse consolidée au niveau du parc a conduit à l'établissement de 22 événements significatifs de sûreté (ESS) dont la répartition des causes (techniques ou humaines) est la suivante :

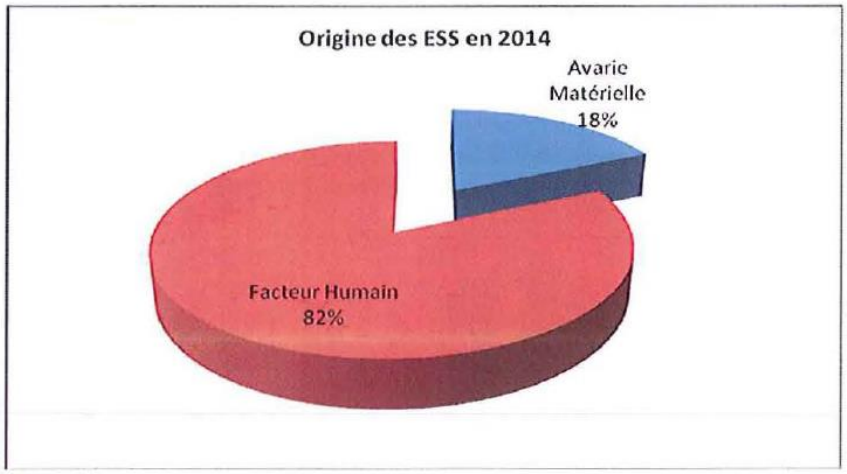


Figure 13: Répartition des causes de défaillances sur 22 ESS en 2014

Pour pondérer ces résultats, il faut noter que les exigences de vérification sur ces groupes semblent d'un haut niveau.

En effet, l'ASN a identifié que plus de 32 culasses des moteurs ont été remplacées sur les diesels des réacteurs de 900 MWe à cause de l'apparition de fissures depuis 2009.

Celles-ci sont susceptibles de conduire à l'indisponibilité voire à la destruction du moteur, par entraînement de liquide de refroidissement, soit dans l'huile de graissage du moteur diesel, soit dans la chambre de combustion.

Néanmoins il en ressort que les culasses démontées n'ont pas été systématiquement rebutées. Cela peut signifier que les défauts n'étaient donc pas si critiques. Il semble peu probable que le retour d'expérience dans l'industrie de transformation sur des anomalies puisse conduire à des résultats similaires.

1.1.2 ANALYSE D'UNE BASE DE DONNÉES : OREDA 2015[5]

Les valeurs des taux de défaillances issues du retour d'expérience peuvent être une source d'indication de la fiabilité de ces groupes électrogènes. L'examen de ces valeurs a été fait avec la base de données OREDA recensant le retour d'expérience mis en place par un groupement d'industriels dans le domaine offshore et onshore. Cette base a été initialisée en 1981 en collaboration avec les compagnies pétrolières norvégiennes. Le principal objectif de cette base est d'améliorer efficacement en termes de sécurité et de coût les installations pétrolifères par le retour d'expérience d'équipements intervenant dans la sécurité.

Le modèle des taux de défaillance est présumé correspondant à un taux constant et indépendant du temps.

Pour chaque équipement, des modes de défaillances sont spécifiés. Bien que chaque type d'équipement se caractérise par des défaillances spécifiques, un regroupement en mode est réalisé de la façon suivante :

- Critique : défaillance qui entraîne une perte immédiate et complète de la capacité de l'équipement à remplir sa fonction.
- Dégradé : l'équipement fonctionne dans un mode dégradé. L'équipement remplit encore sa mission, ce type de fautes peut néanmoins devenir critique.
- Début de défaillance : ce type de défaillance ne met pas en cause la capacité de l'équipement à remplir sa fonction. Elle peut diverger vers les modes Dégradé et Critique.
- Inconnu : type de défaillance qui n'est pas reconnue.

La version OREDA 2015 analyse séparément les défaillances survenant sur la partie moteur thermique de celles survenant sur les équipements électriques du groupe électrogène.

Dans un premier temps, sont listées les défaillances électriques critiques de 18 générateurs électriques diesel fournissant de l'énergie en cas de secours, de manière suivante :

- 1 défaillance liée aux fuites externes ;
- 1 défaillance de démarrage ;
- 4 défaillances de synchronisation ;
- 1 défaillance de tension de sortie ;
- 2 défaillance de puissance fournie ;

Soit un total de 9 défaillances critiques.

A partir de ces données l'OREDA extrapole la valeur du taux de défaillances électriques : $\lambda_{OREDA,e}=2,66.10^{-5}$/h.

Ensuite, la même version OREDA 2015 relève une défaillance mécanique critique d'un moteur à combustion diesel fournissant de l'énergie en cas de secours parmi les 9 observés. Elle correspond à une défaillance de démarrage à la sollicitation.

[5] OREDA – Offshore and Onshore Reliability Data – 3th Edition – SINTEF – 2015

À partir de ces données, on obtient un taux de défaillances mécaniques de $\hat{\lambda}_{OREDA,m}$=5,46.10^{-6}/h.

On obtient donc un taux de défaillance du système :

$$\hat{\lambda}_{OREDA}=\hat{\lambda}_{OREDA,e}+\hat{\lambda}_{OREDA,m}=2{,}66.10^{-5}+5{,}46.10^{-6}=3{,}21.10^{-5}/h.$$

Donc, en posant l'hypothèse de la réalisation de tests périodiques tous les 6 mois, une probabilité moyenne de défaillance à la sollicitation :

$$PFD_{avg}=\frac{\lambda_{OREDA}\times T}{2}=\frac{3{,}21*10^{-5}\times 4380}{2}=7{,}03.10^{-2}$$

La détermination de la PFD_{avg} conduit à une estimation du niveau d'intégrité d'un groupe électrogène à un SIL 1. Par défaut, dans les études de dangers le mode de fonctionnement des barrières de sécurités est relatif à ce mode de fonctionnement. On peut donc estimer que le niveau de confiance d'un groupe électrogène est NC1.

2. INFORMATIONS SUR LA FIABILITÉ DES ASI

2.1 ANALYSE D'UNE BASE DE DONNÉES : OREDA 2015

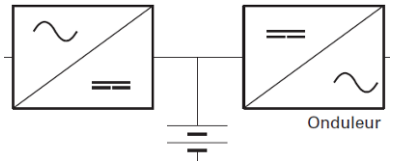
L'OREDA 2015 recense les défaillances critiques de 6 ASI qui correspondent à 2 défaillances à la sollicitation. La valeur du taux de défaillances critiques affiché est : λ_{OREDA}=8,95.10^{-6}/h. On note que l'OREDA ne fait pas de distinction entre les différents types d'ASI (actif, passif ou redondance).

$$PFD_{avg}=\frac{\lambda_{OREDA}\times T}{2}=\frac{8{,}95*10^{-6}\times 4380}{2}=1{,}96.10^{-2}$$

On peut donc estimer le niveau de de confiance d'un ASI à NC1.

2.2 INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES SUR LA FIABILITÉ DES ASI

Le tableau suivant introduit le MTBF (Mean Time Between Failure) des systèmes d'ASI présentés précédemment [3]. Pour mémoire, le MTBF est le temps moyen écoulé entre deux défaillances. En posant l'hypothèse que le taux de défaillances est constant dans le temps et que le temps de réparation est négligeable devant le temps de panne. On obtient, λ_i=1/MTBF$_i$.

Système	Fiabilité	Remarques / hypothèses prises pour l'évaluation
	MTBF=50 000 h λ=2,00.10^{-5}/h PFD_{avg}=4,38.10^{-2} NC : 1	Considérer la défaillance : - du redresseur, - des batteries, - de l'onduleur.

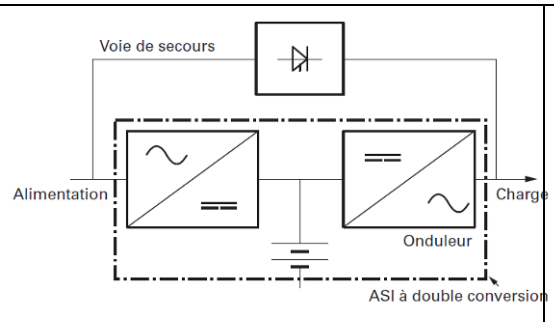
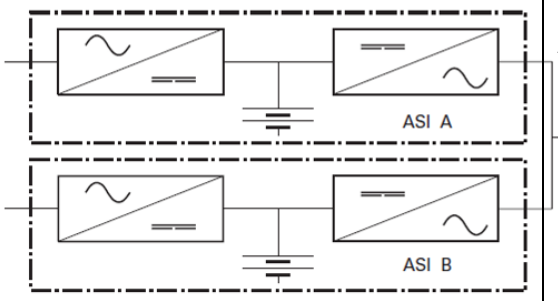
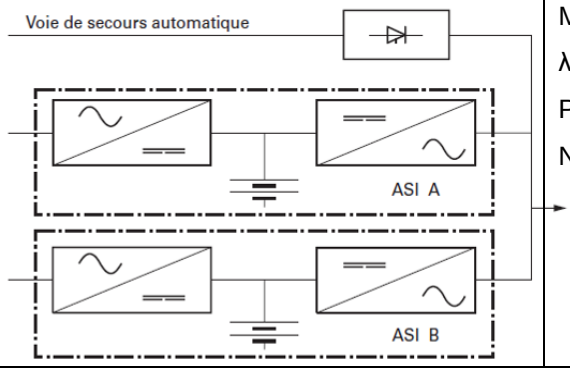
	MTBF=400 000 h λ=2,50.10^{-6}/h PFD$_{avg}$=5,48.10^{-3} NC : 2	Temps de réparation de 10 h Réseau de bonne qualité : - MTBF du réseau de 100 h, - MTBF du by-pass automatique de 2 000 000 h.
	MTBF=500 000 h λ=2,00.10^{-6}/h PFD$_{avg}$=4,38.10^{-3} NC : 2	Considérer le mode de défaillance commun
	MTBF=1 400 000 h λ=7,14.10^{-7}/h PFD$_{avg}$=1,38.10^{-3} NC : 2	Temps de réparation de 10 h Réseau de bonne qualité : - MTBF du réseau de 100 h, - MTBF du by-pass automatique de 2 000 000 h.

Tableau 3: Disponibilité des ASI à double conversion suivant l'architecture [3]

On remarque logiquement que, lorsque l'on redonde l'ASI, le NC et donc la fiabilité du système augmente.

INERIS

maîtriser le risque
pour un développement durable

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - **Internet :** http://www.ineris.fr