MINISTÈRE
DE L'INTÉRIEUR
ET DES OUTRE-MER

Liberté
Égalité
Fraternité

GUIDE DE DOCTRINE OPÉRATIONNELLE



Opérations de secours en présence d'électricité

Janvier 2024

DIRECTION GÉNÉRALE
DE LA SÉCURITÉ CIVILE
ET DE LA GESTION DES CRISES

MINISTÈRE
DE L'INTÉRIEUR
ET DES OUTRE-MER
Liberté
Égalité
Fraternité

**Direction générale
de la sécurité civile
et de la gestion des crises**

GUIDE DE DOCTRINE OPÉRATIONNELLE

Opérations de secours en présence d'électricité

DSP/SDDRH/BDFE/ JANVIER 2024
1ère édition

Ce guide de doctrine opérationnelle a été réalisé en 2023 sous la direction de Eric HOLZMANN du bureau en charge de la doctrine, de la formation et des équipements, avec l'aide des contributeurs suivants :

Melissa AKLI-CARDIN (SDIS 42), Thierry ARNOULD (SDIS 74), Jérémy BOUVIER (SDIS 52), Nicolas CHAINTREUIL (SDIS 73), Jérôme CHIALVA (SDIS 31), Elodie GUSTAVE (SIS 971), Céline JOUBERT (SDIS 80), Julien LEGARS (SDMIS), Lilias LOUVET (RTE), Romaric MILER (SDIS 05), David MORIN (SDIS 24), Kévin NAVARETTE (SDIS 57), Patrick PARAYRE (BSPP), Thierry TRIBAL (SIS 971), Guy TURLIER (ENEDIS), Mickaël URBAIN SDIS (64), Anthony USAÏ (SDIS 59).

Comité de validation : Frédéric PAPET (DSP), Isabelle MERIGNANT (SDDRH), Emmanuel JUGGERY (adjoint SDDRH), Remi CAPART (chef du BDFE).

Reproduction des textes autorisée pour les services d'incendie et de secours dans le cadre de la mise en œuvre de la doctrine et la formation des sapeurs-pompiers.

L'utilisation des illustrations est soumise à une autorisation de l'auteur.

© DGSCGC – 1ère édition – ISBN : 978- 2 – 11 – 167897-2- Dépôt légal : Janvier 2024

MINISTÈRE
DE L'INTÉRIEUR
ET DES OUTRE-MER
Liberté
Égalité
Fraternité

Direction générale
de la sécurité civile
et de la gestion des crises

DIRECTION DES SAPEURS-POMPIERS
Sous-direction de la doctrine et des ressources humaines
Bureau de la doctrine, de la formation et des équipements

Préface

Énergie en perpétuelle évolution, l'électricité a changé la vie de l'Humanité. Elle est indispensable à tout ce qui fait notre vie quotidienne.

Les différentes innovations énergétiques et les solutions de services émergeant impliquent une adaptabilité continue des services d'incendie et de secours. Elles nécessitent un engagement en toute sécurité du personnel lors des différentes phases évolutives des opérations et ceci en étroite collaboration avec le personnel directement concerné.

Aussi, le guide de doctrine opérationnelle constitue une référence adaptable aux situations rencontrées en opération permettant la mise en œuvre sécurisée de toutes les actions des intervenants lors des missions.

Il a vocation à être porté à la connaissance de l'ensemble de vos personnels impliqués dans la gestion des interventions.

Je vous invite également à contribuer à la rédaction de partage d'expérience pour favoriser l'amélioration des documents de doctrine.

Le directeur général de la sécurité civile
et de la gestion des crises

Julien MARION

Table des matières

Préface **5**

Table des matières **7**

Comment utiliser le corpus doctrinal ? **11**

CHAPITRE 1 - Connaissances générales **15**

1. L'environnement **16**

2. L'électricité **16**

2.1.1. L'électricité statique *16*
2.1.2. La foudre *17*
2.1.3. L'électricité dynamique *17*
2.1.4. Les autres sources d'électricité *17*
2.2. Les différents types de courant électrique 17
2.3. Les caractéristiques du courant électrique 18
2.3.1. La tension *18*
2.3.2. L'intensité *18*
2.3.3. La résistance *19*
2.3.4. La puissance électrique *19*
2.3.5. L'énergie électrique *19*

3. Les installations de production **19**

3.1. Les installations photovoltaïques 20
3.1.1. Le principe de fonctionnement *21*
3.1.2. Les formes du photovoltaïque *22*
3.1.3. La signalisation des installations photovoltaïques *24*
3.1.4. Les types d'installations photovoltaïques *24*
3.2. Les éoliennes 27
3.2.1. La description d'une éolienne *28*
3.2.2. Le fonctionnent d'une éolienne *31*
3.2.3. Le raccordement au réseau électrique *32*
3.3. La géothermie 32
3.3.1. Les différentes ressources géothermiques *33*
3.3.2. Les principes de fonctionnement *34*

4. Les systèmes de stockage de l'énergie **34**

4.1. Les systèmes de stockage électrochimique 35
4.1.1. Les installations de stockage de batterie *36*
4.1.2. Les systèmes de sécurité *37*
5.1. Le réseau de transport de l'électricité 38
5.1.1. Les lignes aériennes *39*
5.1.2. Les lignes souterraines *41*
5.1.3. Les postes électriques *42*
5.2. Le réseau de distribution 43
5.2.1. Les lignes électriques *44*
5.2.2. Les postes sources (HTB – HTA) *45*
5.2.3. Les postes de transformation (HTA – BT) *46*
5.2.4. Le réseau basse tension (400V – 230V) *47*
5.2.5. Les installations clients *48*
5.2.6. Les infrastructures d'éclairage publics, de signalisation, de service *48*
5.2.7. Les spécificités des établissements recevant du public (ERP) *48*

6. L'emploi de l'électricité dans les transports 49
6.1. Les trains à vocation de transport urbain 49
6.2. Les trains à vocation de transport urbain ou suburbain, ... 50
6.3. Les trains à vocation de transport de voyageurs et de marchandises 50
7. Les acteurs 50
7.1. Le réseau de transport et de distribution d'électricité 51
7.2. Les moyens de transport 51

CHAPITRE 2 - Les dangers et les risques 53

1. L'accident électrique de personnes 53
1.1. Les causes 54
1.2. Le mécanisme de l'électrisation 54
1.2.1. Les effets de l'électricité sur l'organisme 54
1.2.2. Les seuils de danger 55
1.3. Les accidents électriques 56
1.3.1. Le contact indirect 57
1.3.2. Le contact direct 57
1.3.3. Le phénomène d'amorçage 57
1.3.4. L'arc électrique 58
1.3.5. Les incendies ou explosion d'origine électrique 58
1.4. La tension de pas 58
1.5. Le foudroiement 59
1.5.1. Les différents effets physiologiques de la foudre 59
1.5.2. Les conséquences du foudroiement 60
1.6. Lors des opérations d'extinction 60
2. Les spécificités liées aux panneaux photovoltaïques 61
2.1. Les risques électriques des installations photovoltaïques 61
2.1.1. Le risque de choc électrique au contact des panneaux 61
2.1.2. Le risque d'arc électrique 61
3. Les spécificités liées installations de stockage par batteries 62

CHAPITRE 3 - La sécurité des intervenants 65

1. Les règles générales 66
2. Les différentes possibilités de mise en sécurité 66
2.1. La mise hors tension 66
2.2. La consignation 67
2.3. Le matériel spécifique de sécurité 68
3. Lors des opérations d'extinction 68
3.1. Les installation basse tension 69
3.2. Les installation haute tension 69
3.3. Les distances « limites de voisinage » 70
3.4. L'emploi des moyens aériens 72
4. Les règles sur les moyens de transport 72

CHAPITRE 4 - La construction de la réponse opérationnelle 75

1. Les situations envisageables 75
2. Les documents opérationnels 76
3. La réponse opérationnelle 76
4. La prise d'appel et l'engagement des secours 77
4.1. Les éléments à recueillir 77

4.1.1. La localisation de l'intervention ... *77*
4.1.2. La qualification du motif de l'appel ... *78*
4.2. Les éléments spécifiques aux opérations en présence d'électricité ... 79
4.3. Les conseils au requérant ... 79
4.4. L'engagement des secours ... 80

CHAPITRE 5 - La conduite des opérations ... 81

1. Le zonage opérationnel ... 82
1.1. Principes généraux du zonage opérationnel ... 82
1.2. Le zonage opérationnel en présence d'électricité ... 83

2. Les principes opérationnels ... 84
2.1. Analyser ... 85
2.2. Stabiliser ... 85
2.3. Maîtriser ... 85

3. Les opérations sur une installation électrique ... 86
3.1. Le secours d'urgence à personnes sur une installation électrique ... 86
3.2. Les opérations de lutte contre l'incendie ... 88
3.2.1. Le feu ou l'explosion dans un poste électrique ... *88*
3.2.2. Le feu ou l'explosion sous ou à proximité d'une ligne électrique ... *89*
3.2.3. Le feu de câbles souterrains ou sur des structures portantes ... *89*
3.3. Le court-circuit ... 89
3.3.1. Le court-circuit sous réseau enterré ou en galerie ... *89*
3.3.2. Le court-circuit sous trottoir avec présence d'un tampon « gaz réseau » ... *90*
3.4. Les opérations diverses ... 90
3.4.1. Les câbles tombés au sol ... *90*
3.4.2. Les câbles électriques souterrains ... *91*
3.4.3. Le déversement d'huile provenant d'un transformateur ... *91*

4. Les interventions relatives aux installations photovoltaïques ... 91
4.1. L'évaluation du risque sur la zone d'intervention ... 91
4.1.1. À l'extérieur du bâtiment ... *91*
4.1.2. À l'intérieur du bâtiment ... *91*
4.2. Les opérations de lutte contre l'incendie ... 91
4.2.1. Un feu en présence d'une installation de PV ... *92*
4.2.2. Les centrales solaires au sol ... *92*

5. Les interventions relatives aux éoliennes ... 93
5.1. Les opérations de lutte contre l'incendie ... 93
5.1.1. Les feux en hauteur ... *93*
5.1.2. Les feux de transformateur, en nacelle, en poste de livraison ou en pied de mat de l'éolienne ... *94*
5.1.3. Les éoliennes exposées à un incendie ... *94*
5.2. Les opérations de secours à personnes ... 95
5.3. Les opérations diverses ... 96

6. Les interventions sur les stockages de batteries ... 97
6.1. Les opérations de lutte contre l'incendie ... 97
6.1.1. Les autres moyens d'extinction ... *98*
6.1.2. La gestion des fumées ... *98*
6.1.3. Le déblai ... *98*
6.1.4. La surveillance ... *99*

7. Les interventions sur les réseaux ferrés ... 99
7.1. Les voies SNCF et les voies urbaines ... 100
7.1.1. Les opérations de secours nécessitant la coupure d'urgence et un arrêt de la circulation ... *100*

7.1.2. Les opérations de secours nécessitant la consignation *100*
7.1.3. Les opérations de secours compatibles avec la circulation sans personnels engagés sur les voies *100*
7.1.4. Les opérations de secours nécessitant une restriction de circulation sans personnels engagés sur les voies *100*
7.1.5. Les opérations de secours sans risque électrique *101*
7.2. Les voies urbaines et suburbaines 101
7.2.1. Les opérations de secours dans le métro *101*
7.2.2. Les opérations de secours pour les tramways et les trolley-bus *101*
7.3. La reprise de la circulation 102
8. Le secours d'urgence aux personnes 102

ANNEXE A – Abréviations utilisées dans ce guide 103

ANNEXE B – Les systèmes de stockage d'énergie 105

1. Le stockage mécanique 105
1.1. Les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) 105
1.2. Le stockage par air comprimé 105
1.3. Le stockage par volant d'inertie 105
2. Le stockage thermique 105
3. Le stockage électrique 106
4. Le stockage électrochimique 106
4.1. Le format des cellules 107
4.2. Les unités et les caractéristiques 107
4.3. La protection des cellules 108
4.4. Les assemblages 108
4.5. Un élément de sécurité à la conception des assemblages : le « BMS » 108

ANNEXE C – L'étiquetage relatif aux installations photovoltaïques 111

ANNEXE D– Documents abrogés 113

ANNEXE E – Références bibliographiques 115

Comment utiliser le corpus doctrinal ?

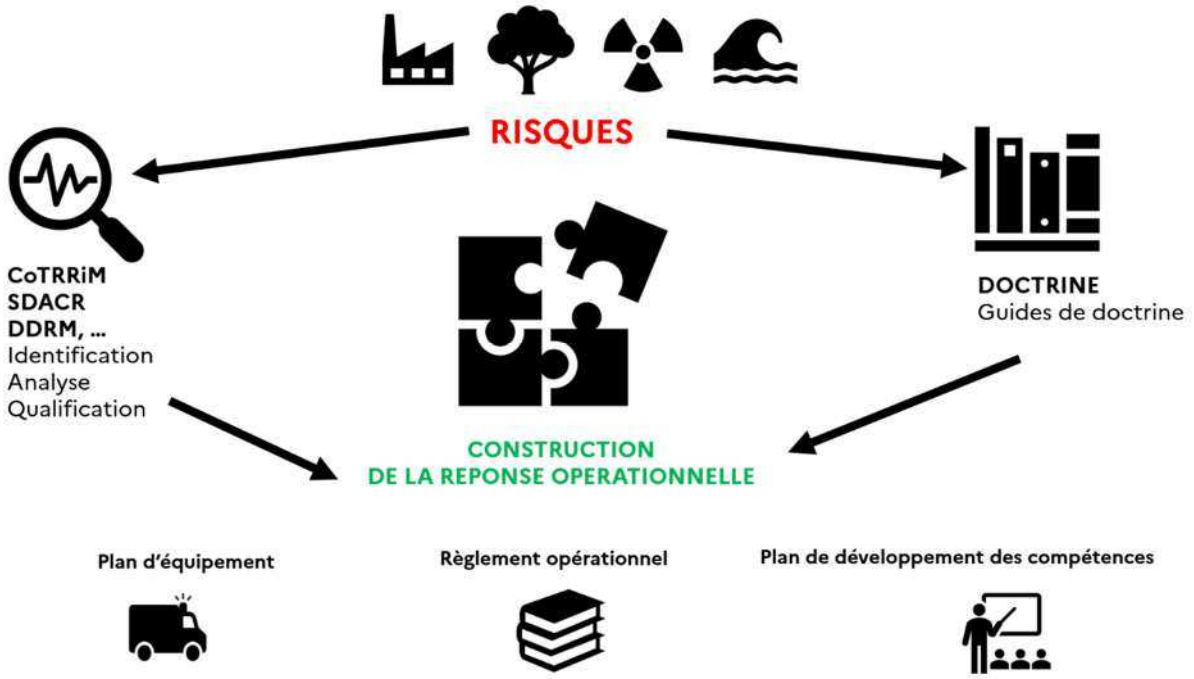
La doctrine opérationnelle relève de la **compétence de l'État**, en application de l'article L112-2 du code de la sécurité intérieure : *« L'État est garant de la cohérence de la sécurité civile au plan national. Il en définit la doctrine et coordonne ses moyens ».*

En application de l'article L 723-6 du code de la sécurité intérieure et de l'article 3 du décret 90-850 du 25 septembre 1990 portant dispositions communes à l'ensemble des sapeurs-pompiers professionnels notamment, elle est applicable aux sapeurs-pompiers professionnels et volontaires.

En lien avec les contrats territoriaux de réponses aux risques et aux effets des menaces et du schéma d'analyse et de couverture des risques, elle permet aux services d'incendie et de secours de construire leur réponse opérationnelle.

La doctrine a pour objet de guider l'action, de proposer des outils d'aide à l'intervention et de faciliter la prise de décision des sapeurs-pompiers, sans imposer des méthodes strictes inenvisageables dans le domaine opérationnel.

Elle participe également à la construction de certains documents structurants des SIS suivant ce schéma :



La doctrine a pour objectif l'uniformisation et la cohérence des modes d'intervention sur l'ensemble du territoire, ainsi que l'interopérabilité des SIS.

Si elle ne constitue pas un corpus contraignant au sens strict, elle reste une référence opposable soumise au pouvoir d'appréciation du juge.

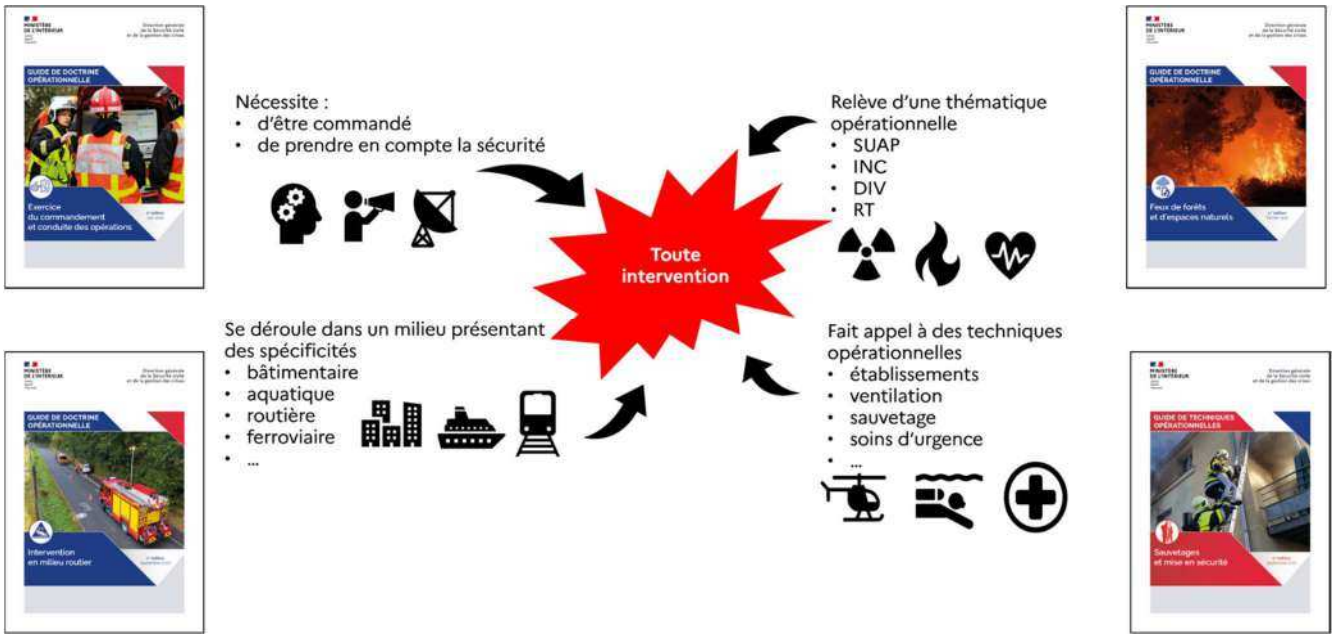
Elaborée par la DGSCGC avec le concours des SIS et d'experts, la doctrine opérationnelle fait partie des **actes de droit souple.**[1], ce qui permet de l'actualiser en fonction de l'évolution des risques et des menaces, de l'état des connaissances et des retours d'expériences.

Chaque situation de terrain ayant ses particularités, chercher à prévoir un cadre théorique unique pour chacune serait un non-sens et c'est pourquoi seuls des conseils à adapter au cas par cas sont pertinents et nécessaires.

La décision, dans une situation particulière, de s'écarter des orientations données par les documents de doctrine relève de l'exercice du pouvoir d'appréciation, intégrée à la fonction de commandement et inhérente à la mission en cours.

La mise en œuvre de la doctrine requiert du discernement pour être adaptée aux impératifs et contraintes de chaque situation.

Ce corpus s'organise à l'image d'une intervention et de son traitement :



Ce corpus doctrinal qui s'organise sous la forme d'une bibliothèque de la sécurité civile propose plusieurs types de documents, ayant des finalités différentes.

Les guides de doctrine opérationnelle (GDO) sont des documents qui ont pour objectifs :

- d'aider les services d'incendie et de secours à construire leur réponse opérationnelle à partir de règles communes ;
- de permettre au commandant des opérations de secours (COS) de construire son raisonnement tactique ;
- de concourir à la sécurité des intervenants.

Il existe ainsi des :

- guides de doctrine généraux qui définissent les dispositions communes et transverses capables de s'adapter à tous types de situation et applicables par tous les SIS ;
- guides de doctrine spécifiques qui définissent la stratégie à mettre en œuvre propre à un environnement opérationnel ou un risque particulier préalablement identifiés.

[1] Etude annuelle du Conseil d'Etat de 2013

Les guides de techniques opérationnelles (GTO) ont pour objectif de mettre à disposition des services d'incendie et de secours l'ensemble des méthodes et techniques opérationnelles utiles à l'atteinte des objectifs du COS en fonction des différents environnements rencontrés en opération.

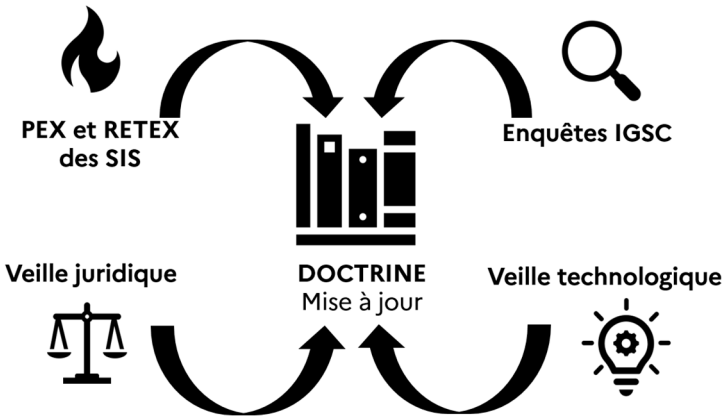
Les partages d'information opérationnelle (PIO) ont pour objectif d'offrir rapidement des éléments opérationnels de manière synthétique sur une problématique nouvelle ou ponctuelle (self stockage, isolation par l'extérieur, etc.).

Ces documents n'ont pas vocation :

- à proposer un dispositif opérationnel type pour la gestion des interventions ;
- à détailler des phénomènes opérationnels et leur stratégie de lutte ;
- à détailler des techniques opérationnelles ;
- à servir les particularités de tel ou tel service d'incendie et de secours, mais bien d'être exploitables par tous.

Inscrite dans une démarche d'amélioration continue, la doctrine est régulièrement mise à jour à partir :

- des partages et retours d'expérience des services d'incendie et de secours ;
- de l'évolution des connaissances dans le domaine des sciences et techniques ;
- de la veille juridique.



Les photographies et les schémas utilisés dans les documents de doctrine n'ont pas vocation à imposer ou recommander aux services d'incendie de secours, les matériels et équipements qui peuvent y être représentés.

Pour en savoir plus, se référer au vadémécum « Doctrine à l'usage des services d'incendie et de secours ».



CHAPITRE 1 - Connaissances générales



© Antonin Ronchon

Les enjeux liés aux opérations de secours en présence d'électricité nécessitent une connaissance consolidée des caractéristiques de l'environnement dans lequel évolueront les secours et une réelle compréhension de l'action des différents acteurs.

Aussi, ce guide de doctrine opérationnelle se veut généraliste et prioritairement à l'usage des primo-intervenants. Il regroupe en un seul écrit toutes les informations contenues dans les documents opérationnels qu'il abroge le cas échéant.

En fonction de la situation le commandant des opérations de secours (COS) peut faire appel ou s'appuyer sur les conseils de spécialistes.

L'électricité étant au carrefour des grandes évolutions et enjeux énergétiques de la société, le document aborde les installations électriques les plus fréquemment rencontrées dans notre environnement professionnel et évoque les transformations techniques de demain.

En outre et afin de bien comprendre le champ d'application de ce GDO, il apparait nécessaire de clarifier ce qu'il faut comprendre par « opération en présence d'électricité » en prenant en compte ses spécificités[2].

[2] La France métropolitaine continentale, la France métropolitaine, et les zones non interconnectées à la France métropolitaine continentale (Corse et outre-mer).

1. L'environnement

L'énergie est présente partout dans le monde et se définit comme la mesure de la capacité d'un système :

- à modifier son état ou celui d'un autre,
- et/ou à initier ou perpétuer un mouvement,
- et/ou à produire un rayonnement électromagnétique ou de la chaleur.

Il convient donc de distinguer la source d'énergie des différentes formes d'énergie, même si intrinsèquement ces deux concepts sont liés. Par exemple, le soleil, par les rayonnements qu'il émet, est une source d'énergie qui produit de l'énergie thermique (solaire thermique) mais peut également produire de l'énergie électrique par conversion (énergie photovoltaïque)).

Concernant l'énergie électrique, elle est acheminée depuis les centres de production vers les consommateurs en empruntant :

- le réseau public de transport d'électricité dimensionné pour les longues distances et les fortes quantité d'énergie ;
- le réseau public de distribution conçu pour les courtes distance et des plus faibles quantités d'énergie;
- l'autoconsommation énergétique hors réseau public qui consiste à produire l'électricité qui est consommé.

Aujourd'hui, en raison principalement des limitations techniques, l'énergie électrique ne peut être sockée massivement. Il en résulte que les quantités produites et injectées dans les réseaux doivent répondre à la demande d'une consommation instantanée. En conséquence, garantir la sécurité du système électrique est donc essentiel pour éviter les désordres de toute nature liés à une coupure de courant localisée ou un *black-out* à plus grande échelle.

Le terme « ouvrage » est exclusivement réservé, aux réseaux publics de transport et de distribution d'électricité et à leurs annexes. Le terme « installation » s'applique à toute installation électrique à l'exclusion des ouvrages.

2. L'électricité

L'électricité ou courant électrique est à la fois un phénomène physique et une énergie résultant du déplacement de particules chargées négativement (les électrons) au sein d'un matériau conducteur (matériau dont les atomes ont une faculté à se céder facilement des électrons).

2.1. Les formes et les types d'électricité

2.1.1. L'électricité statique

Lorsque l'on frotte une règle en plastique sur du papier, les électrons superficiels des atomes du papier rejoignent les atomes de la règle. Les charges électriques sont alors piégées dans des matériaux isolants (le plastique, le papier, le verre, etc.) qui les empêchent de circuler.

Ce phénomène est appelé électricité statique. Il peut se manifester très rapidement lorsque l'on touche la règle par un léger choc électrique (décharge des électrons). Il s'agit du même phénomène lorsqu'ayant marché sur une moquette, on touche la poignée d'une porte.

La quantité d'électricité statique produite n'est pas suffisante pour être industrialisée et satisfaire nos besoins énergétiques habituels.

2.1.2. La foudre

La foudre est un phénomène naturel de décharge électrostatique de grande intensité qui se produit dans l'atmosphère, entre des zones chargées électriquement. Ce phénomène peut se produire soit :

- à l'intérieur d'un nuage ;
- entre plusieurs nuages ;
- entre un nuage et le sol.

La foudre est accompagnée d'un ou plusieurs éclairs avec ou sans tonnerre[3]. Les décharges nuage-sol présentent un plus grand danger pour l'être humain.

2.1.3. L'électricité dynamique

L'électricité dynamique est constituée par un flux d'électrons libres circulant dans une seule direction. Pour créer un tel flux, il faut utiliser un matériau conducteur relié à un générateur (pile, dynamo, accumulateur, alternateur, etc.) et des récepteurs.

2.1.4. Les autres sources d'électricité

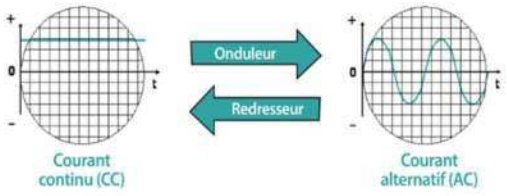
Dans l'état actuel des connaissances et de la technique, l'électricité dite naturelle ne peut être captée et stockée. En conséquence, elle doit être créée, de manière artificielle dans des centrales par transformation :

- de sources d'énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) ;
- de sources d'énergies fissiles (uranium) ;
- de sources d'énergies renouvelables (eau, vent, soleil, biomasse).

2.2. Les différents types de courant électrique

Un courant électrique est généré par le déplacement de charges électriques dans un matériau conducteur. On distingue :

- **le courant alternatif**[4] (CA ou AC (*alternative current*)) est un courant électrique qui circule alternativement dans une direction puis dans l'autre à intervalle régulier. Aujourd'hui, c'est le type d'électricité le plus utilisé ;
- le courant continu (CC ou DC (*direct current*)) est un courant électrique qui circule continuellement dans une seule direction.



Un onduleur permet de convertir le courant continu en courant alternatif pour être distribué et utilisé par les appareils de consommation électrique.

Un redresseur permet de convertir le courant alternatif distribué par le réseau en courant continu (exemple : recharge des batteries d'accumulateurs).

- **le courant capacitif** résulte de l'aptitude d'un conducteur à conserver une charge

[3] Lors d'un éclair, l'air situé au niveau du passage de l'électricité est chauffé à plus de 30 000 °C. Sous l'effet de cette augmentation de chaleur, l'air va connaître brutalement une grande expansion. Cette expansion est accompagnée d'un bruit : le tonnerre. En quelques millièmes de secondes, la compression puis la dilation de l'air entraine le bruit. Le décalage entre la perception de l'éclair et le tonnerre est dû à la différence de vitesse entre la lumière et le son. En effet, la lumière se déplace à une vitesse de 3*10^8 m/s et le son se déplace à une vitesse de 340 m/s.

[4] Pour un courant de fréquence de 50 Hz, le changement de sens s'effectue 50 fois par seconde.

électrique (jusqu'à 10% du courant initial) après une coupure d'alimentation. Ce phénomène se manifeste d'autant plus que le conducteur est long et la tension élevée. La neutralisation d'un courant capacitif impose une mise à la terre du conducteur ;
- **le courant faradique et galvanique,** à la marge, est un terme principalement utilisé en électro-chimie et en médecine qui correspond à un courant continu à flux constant.

L'environnement des ouvrages est soumis à des phénomènes électriques pouvant générer des tensions dangereuses pour les personnes et intervenants se situant à proximité. Aussi, on identifie divers phénomènes qui sont à prendre en compte :

- le couplage capacitif ;
- le couplage inductif ;
- l'induction magnétique ;

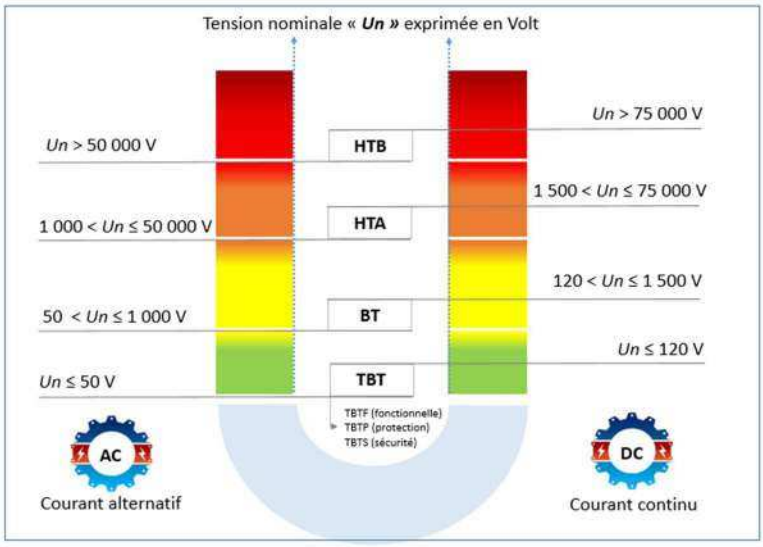
La notion de mise à la terre consiste à évacuer le courant de fuite en cas de défaut d'isolement sur un appareil électrique vers la terre et donc à protéger les personnes du risque d'électrisation voire d'électrocution. La terre permet d'absorber les charges électriques qui peuvent circuler dans le réseau de la liaison équipotentielle.

2.3. Les caractéristiques du courant électrique

2.3.1. La tension

Exprimée en volts (V), la tension (U) correspond à la force avec laquelle les électrons sont mis en mouvement dans les conducteurs électriques.

- la HTA est supérieure à 1000 volts en alternatif et 1500 volts en continu et inferieur a 50 000 Volts en alternatif et 75 000 volts en continu.
- la HTB est supérieure à 50000 volts en alternatif et 75000 volts en continu.



Les différents domaines de tension
© Eric Holzmann – DGSCGC

Elle peut être comparée schématiquement à la pression dans un tuyau d'eau.

Il est important de garder en mémoire que le terme basse tension ne doit pas être interprété comme une garantie de sécurité.

2.3.2. L'intensité

L'intensité d'un courant (I) exprimée en ampère (A) correspond au flux d'électrons qui circulent dans les fils. Elle peut être comparée schématiquement au débit dans un tuyau d'eau.

2.3.3. La résistance

La résistance (r) ou impédance est exprimée en ohms (Ω). Elle correspond à la propriété d'un matériau à s'opposer au passage du courant électrique.

Tension (U) = résistance (r) x intensité (I)

La résistance est responsable d'une dissipation d'énergie sous forme de chaleur. Cette propriété porte le nom d'effet Joule. Cette production de chaleur est parfois un effet souhaité (résistances de chauffage), parfois un effet néfaste (pertes Joule) mais souvent inévitable.

La résistance électrique peut être comparée au rétrécissement d'un canal qui s'oppose au passage du courant (exemple : le passage de l'eau dans un raccord de réduction).

2.3.4. La puissance électrique

Elle est mesurée en watt ou plus couramment en kilowatt (1 kW, soit 1 000 W) ou mégawatt (1 MW, soit 1 000 kW), elle permet de déterminer la quantité d'énergie transmise et se mesure par le produit de la tension et de l'intensité.

Puissance (P) = Tension (U) x intensité (I)

La puissance électrique peut être comparée à la force du jet d'eau lorsqu'il sort du robinet.

2.3.5. L'énergie électrique

Elle permet d'évaluer la quantité d'électricité produite ou consommée pendant une période donnée. Il s'agit de la puissance électrique multipliée par le nombre d'heures d'utilisation.

Elle se mesure principalement :

- en kilowattheure (kWh) ;
- en mégawattheure (MWh ou 1 000 kWh) ;
- en gigawattheure (GWh ou 1 000 000 kWh).

DÉSIGNATION	UNITÉ	DÉFINITION	EXEMPLE
Tension	Volt (V)	Quantité de courant électrique	Électricité distribuée dans le résidentiel et les petites entreprises : 230V/400V.
Intensité	Ampère (A)	Débit du courant électrique	Intensité limitée par un disjoncteur électrique
Résistance	Ohm (Ω)	Retenue du passage du courant	Une résistance dans un circuit électrique peut aller de 0,01 Ω à plusieurs mégaohms.
Puissance réelle	Watt (W)	Énergie fournie par seconde	Une ampoule 60W, un chauffage de 2000W.
Énergie électrique	Watt-heure (Wh)	Énergie transmise	Une consommation de chauffage annuelle de 3000 kWh pour un foyer.

3. Les installations de production

L'électricité peut être produite de différentes façons, mais presque toujours selon le même principe à savoir la transformation d'un mouvement tournant en énergie électrique, grâce à un alternateur.

Les **centrales nucléaires** utilisent l'énergie libérée par la fission de noyaux des atomes d'uranium qui produit de la chaleur, chauffe de l'eau créant de la vapeur permettant de produire de l'électricité. La production nucléaire est la première source de production d'électricité en France. En 2020, elle représentait 67,1% de l'électricité produite.

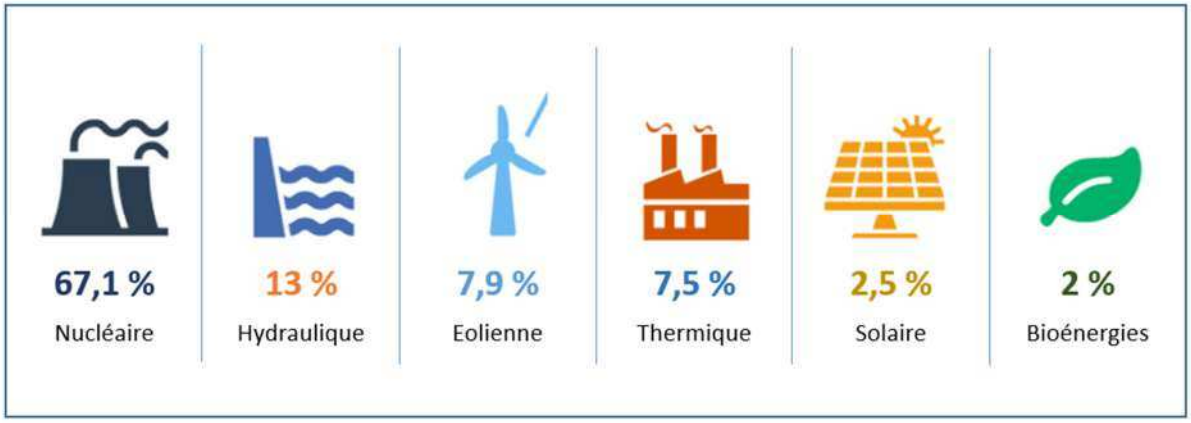
Les **centrales hydro-électriques** utilisent la force de l'eau pour produire de l'électricité. La production hydraulique est la deuxième source de production d'électricité en France. En 2020, elle représentait 13% de l'électricité produite.

Les **éoliennes** transforment l'énergie de la force du vent en électricité. La production éolienne est la troisième source de production d'électricité en France. En 2020, elle représentait 7,9% de l'électricité produite.

Les **centrales thermiques** utilisent la combustion du pétrole, du charbon ou du gaz naturel pour produire de l'électricité. La production thermique est la quatrième source de production d'électricité en France. En 2020, elle représentait 7,5% de l'électricité produite.

Les **panneaux photovoltaïques** permettent de transformer l'énergie lumineuse des rayons du soleil en énergie électrique. La production est la cinquième source de production d'électricité en France. En 2020, elle représentait plus de 2,5% de l'électricité produite.

Les **bioénergies** sont l'ensemble des énergies renouvelables produites à partir de matières organiques (ex : biomasse).



Les différentes sources d'électricité en France en 2020

3.1. Les installations photovoltaïques

Dans une installation photovoltaïque (PV), le rayonnement solaire ou faisceau lumineux est converti en électricité au travers de matériaux semi-conducteurs (essentiellement du silicium).

Au contact du matériau semi-conducteur, l'énergie lumineuse incidente crée des charges électriques mobiles positives et négatives.



© Djamel Ferrand - DGSCGC

Ces charges sont séparées au sein du matériau grâce à un champ électrique interne, ce qui génère une tension continue de quelques dizaines de volts à l'échelle d'un module PV.

3.1.1. Le principe de fonctionnement

Les panneaux photovoltaïques constituent la partie visible de l'installation. Une installation domestique comporte bien souvent plus d'une dizaine de panneaux photovoltaïques juxtaposés. Le plus petit élément générateur d'électricité est appelé cellule photovoltaïque. Il existe différents types de cellules sur le marché, qui se distinguent par leur structure et leur matériau, choisis scrupuleusement de façon à tirer profit au maximum du rayonnement solaire.

Les panneaux photovoltaïques ou modules, sont composés de cellules photovoltaïques interconnectées les unes aux autres et protégées de l'environnement par un matériau transparent en face avant (souvent du verre) et par un autre matériau en face arrière (souvent une feuille de polymère ou une autre plaque de verre).

Tout panneau PV exposé à la lumière, qu'elle soit naturelle ou artificielle produit de l'énergie électrique en permanence. Sauf à occulter totalement l'ensemble des panneaux ou la nuit (hors faisceau lumineux), il est impossible de couper physiquement cette production électrique dans la partie amont de l'installation (courant continu).

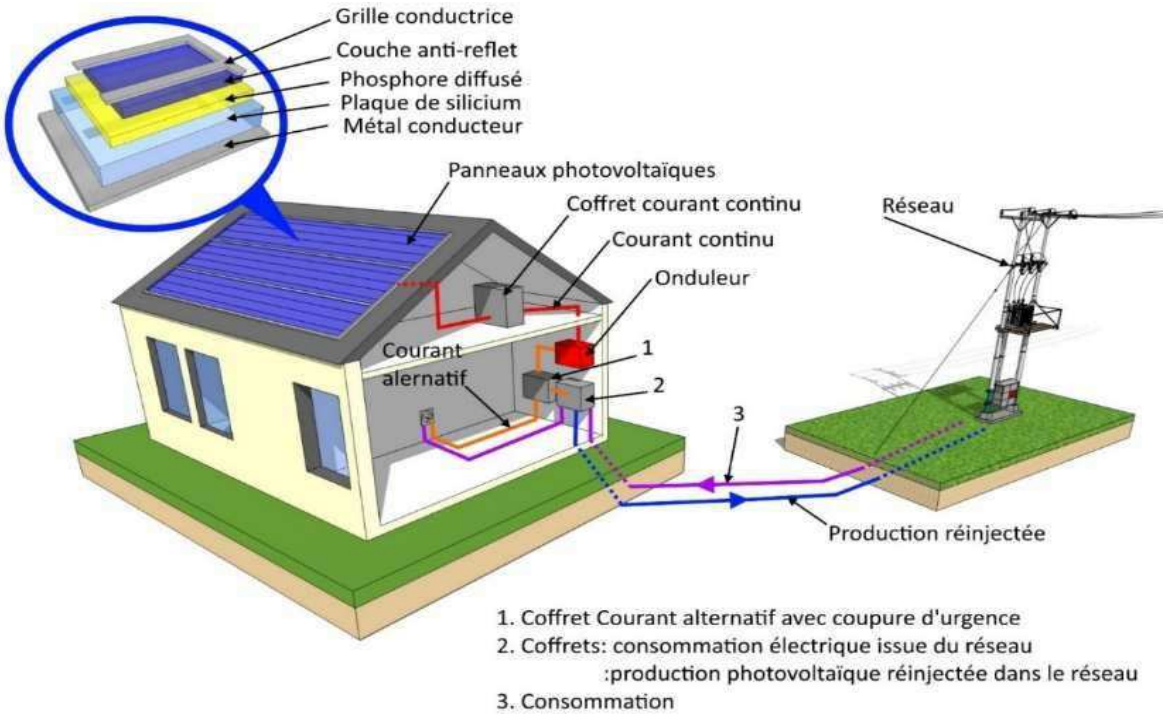


Schéma de principe d'une installation[5] *© Guillaume Vermeulen – SDIS 59*

Le panneau photovoltaïque (PPV) : Le rayonnement solaire est converti en électricité au travers de matériaux semi-conducteurs.

Le coffret DC : Armoire électrique de regroupement des câbles transportant le courant continu venant des PPV. Le conducteur sortant alimente l'onduleur.

[5] De nombreuses installations domestiques sont également équipées de petites batteries de stockage

L'onduleur : Dispositif électronique permettant de transformer des courants continus en courants alternatifs exploitables par le réseau.

Le coffret AC : Armoire électrique de regroupement des câbles venant de l'onduleur. Les courants entrants et sortants y sont de type alternatif. Ces coffrets disposent d'un boîtier de coupure d'urgence

L'appareil général de coupure et de protection (AGCP) : ayant principalement pour fonction la coupure de l'énergie électrique (2 pour les installations de revente totale (production et consommation) et 1 pour les installations autonomes ou de reventes partielles ou injection totale supérieurs à 36 kVA).

Le tableau général basse tension (TGBT) : C'est le point central de la distribution électrique d'un bâtiment. Ce tableau constitue le point de concentration de la production électrique à destination du réseau de distribution



© Nicolas Voilliot - DGSCGC

Les panneaux photovoltaïques génèrent un courant continu qui doit être converti en courant alternatif pour pouvoir être utilisé dans l'installation électrique domestique ou vendu au fournisseur d'énergie.

3.1.2. Les formes du photovoltaïque

Il existe plusieurs techniques et possibilités d'implantation des panneaux photovoltaïques et notamment sur les bâtiments. Le choix d'une technique est déterminé non seulement par les possibilités offertes par le bâtiment mais également par la puissance de l'installation.

- Les installations hors sol

L'implantation de panneaux PV est de plus en plus répandue sur les toitures et les façades de bâtiment. On la trouve notamment :

- sur le toit des maisons individuelles (système PV de faible puissance : quelques kilowatt-crête kWc), les panneaux étant indifféremment intégrés à la toiture, en substitution de tuiles ou ardoises, ou sur-imposés sur la toiture, au-dessous des tuiles ou des ardoises sur 15 à 20 m^2 environ ;
- sur le toit de bâtiments tertiaires, industriels ou agricoles (système de quelques dizaines à quelques centaines de kWc), représentant alors plusieurs milliers de m^2 de panneaux ;
- en couverture de parkings extérieurs (gares, entreprises privées, etc.).



©Djamel Ferrand - DGSCGC

- Les installations au sol

On distingue deux types d'installation au sol : les panneaux de sol à vocation unique de production d'énergie, et les chaussées PV.

Les centrales solaires au sol

Pour des centrales de production PV de plusieurs mégawatts crête (MWc), voire plusieurs dizaines de MWc, l'installation nécessite une très grande surface de panneaux.

L'électricité est généralement injectée en totalité sur le réseau électrique haute tension.

Les panneaux sont dans la plupart des cas implantés sur des structures fixes orientées vers le sud.

© Bastien Guerche – DGSCGC



Dans certains cas, les centrales solaires sont équipées de « *trackers* » qui permettent de suivre la course du soleil pour obtenir un meilleur rendement.



© Jean-François Cascarra

La chaussée ou voie PV

L'installation existant en France consiste en la mise en place de dalles photovoltaïques épaisses d'environ 1 cm.



© Didier Helou

- Les centrales solaires flottantes



La multiplication de projets de centrales solaires flottantes représente une alternative aux centrales solaires au sol pour limiter la pression sur le foncier.

Ces installations fixées à des flotteurs forment un immense îlot solaire, en flottant sur un plan d'eau.

La centrale solaire de Piolenc dans le Vaucluse

3.1.3. La signalisation des installations photovoltaïques

Pour permettre aux sapeurs-pompiers d'identifier ces installations, le guide UTE C 15712-1 définit depuis janvier 2011 un jeu d'étiquettes permettant d'identifier un système photovoltaïque et d'informer sur les risques.



3.1.4. Les types d'installations photovoltaïques

Selon les cas, l'électricité produite par les installations photovoltaïques est revendue (vente totale ou partielle) ou utilisée pour des besoins d'un site (autoconsommation).

- l'injection totale de l'électricité produite

La production photovoltaïque est injectée entièrement sur le réseau de distribution public et vendu à EDF via un compteur de production. La consommation électrique domestique est

alimentée via un compteur de consommation qui permet la facturation de l'énergie délivrée par le distributeur.

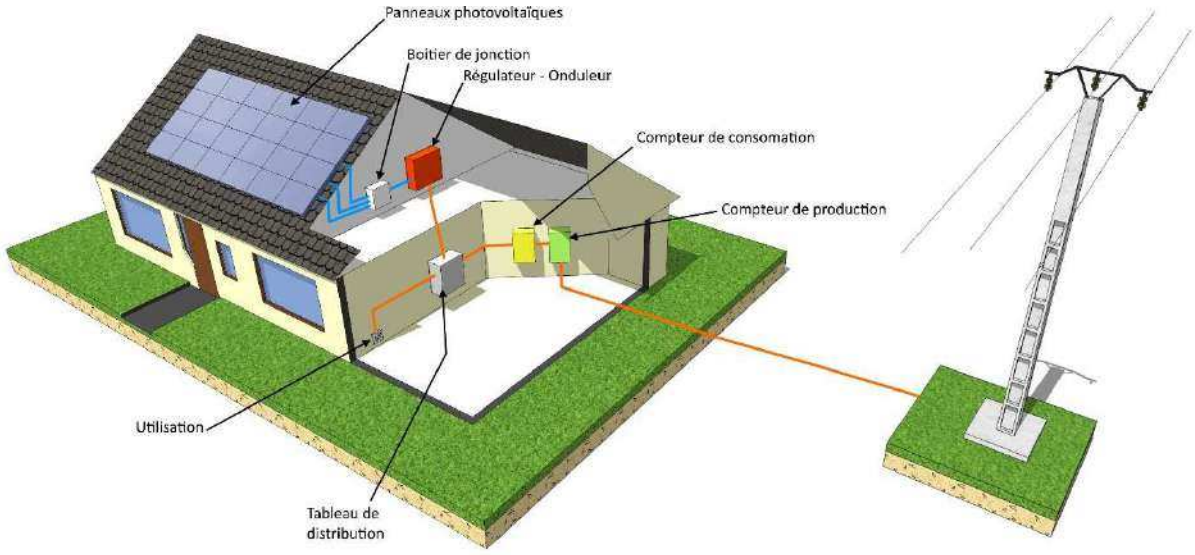


© Guillaume Vermeulen – SDIS 59

- L'autoconsommation à une injection partielle de l'électricité produite

Dans ce type d'installation, la production photovoltaïque a pour vocation principale l'alimentation de l'installation électrique du site ; en cas de surplus, celui-ci est injecté au réseau de distribution public et vendu à EDF. Ce modèle est maintenant prédominant dans les nouvelles installations individuelles ou collectives à usage d'habitation.

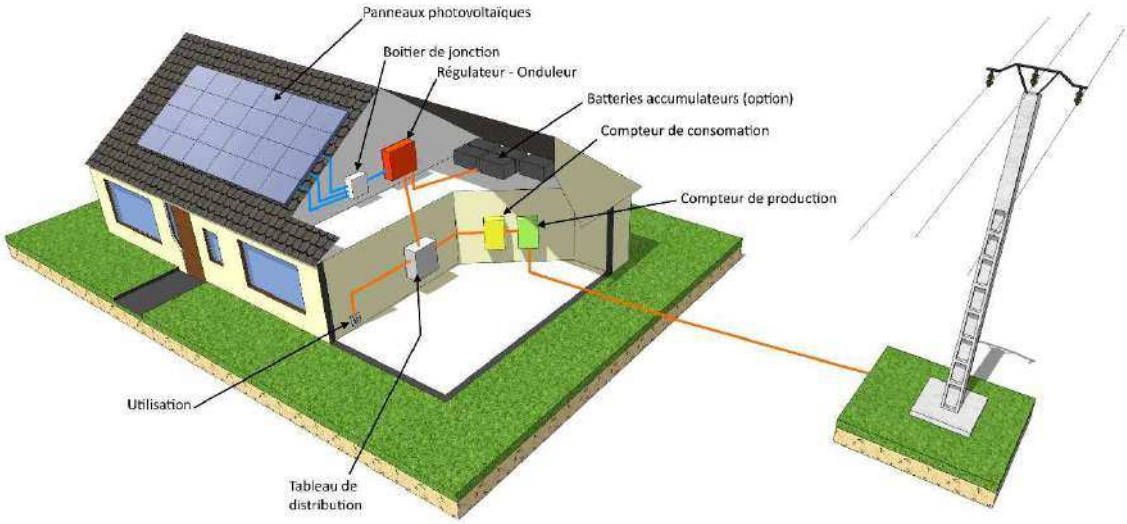
À l'inverse, lorsque la demande en consommation du site dépasse la production, un (seul) compteur de soutirage mesure l'énergie prélevée au réseau de distribution. Un seul disjoncteur est requis pour couper l'électricité côté réseau.



© Guillaume Vermeulen – SDIS 59

- L'autoconsommation de l'électricité produite avec stockage

Ce type d'installation constitue une variante de la précédente. La vocation reste avant tout l'alimentation de l'installation électrique du site. Pour assurer cette alimentation en toutes circonstances, l'utilisateur s'est équipé de batteries d'accumulateurs.

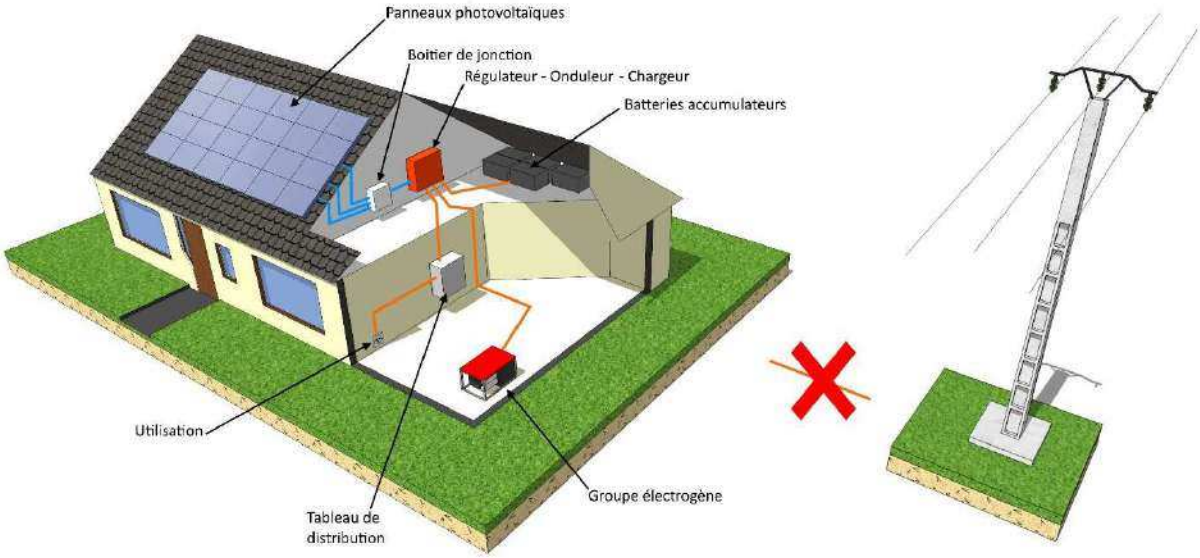


© Guillaume Vermeulen – SDIS 59

- Les installations autonomes

Les systèmes photovoltaïques autonomes sont indépendants du réseau électrique conventionnel. Ils sont principalement utilisés pour l'alimentation de lieux difficiles d'accès (zone de montagne, etc.) où le raccordement au réseau n'est pas réalisable, pour des raisons techniques ou économiques.

En général, ces installations sont équipées de batteries, d'un régulateur de charge et d'onduleurs autonomes. Les batteries servent à stocker le surplus de production ; cette énergie stockée sera restituée durant la nuit ou pendant des périodes de faible ensoleillement.



© Guillaume Vermeulen – SDIS 59

Le chauffe-eau solaire destiné à la production d'eau chaude domestique peut être confondu avec des panneaux photovoltaïques.

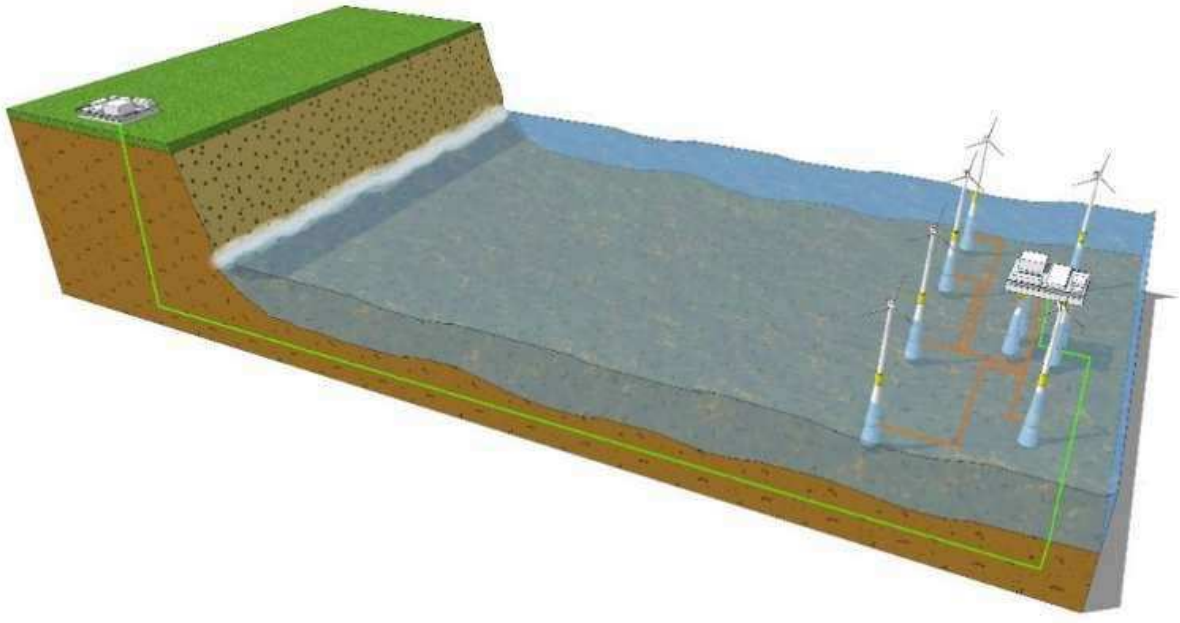
3.2. Les éoliennes



© Bastien Guerche – DGSCGC

Une éolienne (ou un aérogénérateur) est une turbine qui transforme l'énergie cinétique du vent en électricité. Une ferme éolienne (ou parc éolien[6]) est le lieu où plusieurs éoliennes sont rassemblées.

En France, le parc éolien est principalement constitué d'éoliennes essentiellement terrestres.[7]



Exemple de parc éolien maritime © Guillaume Vermeulen – SDIS 59

L'installation d'un parc éolien est soumise à plusieurs réglementations, auxquelles s'ajoutent les dispositions du code du travail pour la conception et l'exploitation des éoliennes. Les parcs

[6] Le poste de livraison fait partie intégrante du parc éolien
[7] Des parcs éoliens maritimes sont à l'étude sur l'ensemble du territoire.

éoliens terrestres relèvent de la rubrique 2980 de la nomenclature des installations classées. A ce titre, deux régimes sont possibles[8] , la déclaration ou l'autorisation :

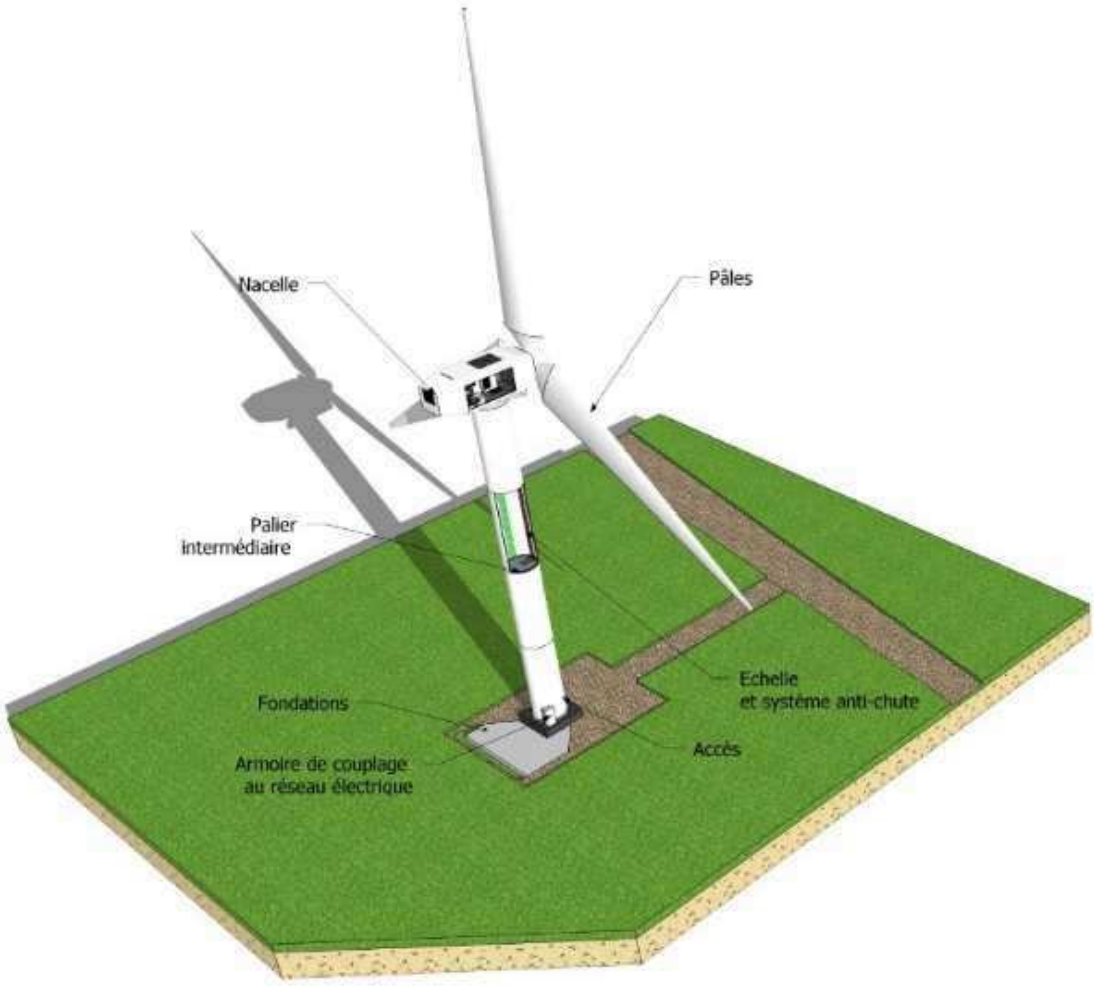
Dans le cadre d'un projet de parc éolien, et dans sa demande d'autorisation d'exploiter, les SIS sont consultés.
Ainsi, les éléments fournis permettent aux SIS de disposer de nombreuses données comme :

- les caractéristiques des aérogénérateurs ;
- les dispositifs de sécurité ;
- les produits présents ;
- les ouvrages et tiers à proximité.

En retour, un ensemble de prescriptions peut être formulé afin d'améliorer l'intervention des secours et sa sécurité, en particulier :

- la permanence d'accès carrossable et entretenue ;
- la mise à disposition du plan d'implantation ;
- les consignes de transmission d'alerte ;
- la mise à disposition de dispositif antichute.

3.2.1. La description d'une éolienne



Exemple d'éolienne terrestre © Guillaume Vermeulen – SDIS 59

[8] Pour aller plus loin : http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/Arretes-declaration-et.html

Les caractéristiques d'une éolienne terrestre sont les suivantes :

- diamètre du rotor : entre 50 et 150 m ;
- hauteur du mât : 50 à 130 m;
- hauteur totale : entre 100 et 200 m.

Une éolienne[9] se compose de quatre parties principales :

1. **des fondations,** qui permettent de fixer l'ensemble de la structure. D'un seul bloc de béton armé, ces fondations sont soit superficielles, soit sur pieux suivant la nature des sols. Elles incluent une virole ou une cage d'ancrage ;
2. **un mât en acier ou en béton.** Fixé aux fondations par l'intermédiaire d'une centaine de boulons. Il est assemblé sur le site après avoir été livré en plusieurs tronçons. Un mat mesure entre 50 et 130 mètres avec une base de 4 à 7 mètres de diamètre pour un poids de plus d'une centaine de tonnes.
3. **une nacelle**, fixée au sommet du mât, qui contient le générateur et le rotor. C'est un volume fermé avec une enveloppe en matériau composite comprenant « le cœur de l'éolienne ». Tout le dispositif de production d'électricité est présent, y compris le système d'orientation. Ce dernier permet d'orienter la nacelle face au vent.

   Le rotor est la partie tournante de l'éolienne. Il est composé des pales (2 ou 3 selon le constructeur) et du moyeu. Son diamètre peut atteindre plus d'une centaine de mètres et son poids varie entre 35 et 55 tonnes Il permet la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, qui sera transmise ensuite à la génératrice. Le moyeu de l'éolienne supporte les pâles sur l'axe d'entrée du multiplicateur ou celui de la génératrice s'il s'agit d'un aérogénérateur à entrainement direct.

   Le mouvement du rotor peut être transmis directement à une génératrice, c'est le cas des turbines synchrones qui représente 25% du parc éolien. Dans le cas des turbines asynchrones, un multiplicateur est placé avant la génératrice.

   Ce multiplicateur et les équipements annexes contiennent 250 à 800 litres d'huile. La présence de produits lubrifiants peut être source de fuite ou feu pendant la phase de production et lors des phases de maintenance.



Une consignation mécanique du rotor devra être faite à l'approche d'un moyen aérien ou en cas d'intervention nécessitant un accès dans le rotor. Cette manipulation est réalisée par un technicien formé et habilité.

L'accès à la nacelle par l'intérieur est possible au moyen d'un élévateur et d'une échelle fixe. L'élévateur est dimensionné pour transporter au maximum 240 kg, mais reste limité en place à deux personnes au maximum.



L'élévateur est entrainé par un treuil qui nécessite des connaissances particulières. Au même titre que les ascenseurs dans les bâtiments d'habitation, l'utilisation par les secours n'est pas à privilégier en raison du risque potentiel de blocage.

[9] **Cas du petit éolien :** Il existe des moyens de production individuelle. Ces éoliennes fonctionnent sur le même principe que les grands aérogénérateurs. Elles mesurent au maximum une dizaine de mètres de hauteur.

L'échelle fixe, installée du bas de l'éolienne jusqu'à la nacelle, permet un accès aux différents paliers. Elle est munie d'un équipement de protection individuelle[10] contre les chutes de hauteur, complété selon les cas par un système d'aide à l'ascension.

Une ouverture, présente sur ou sous la nacelle permet :

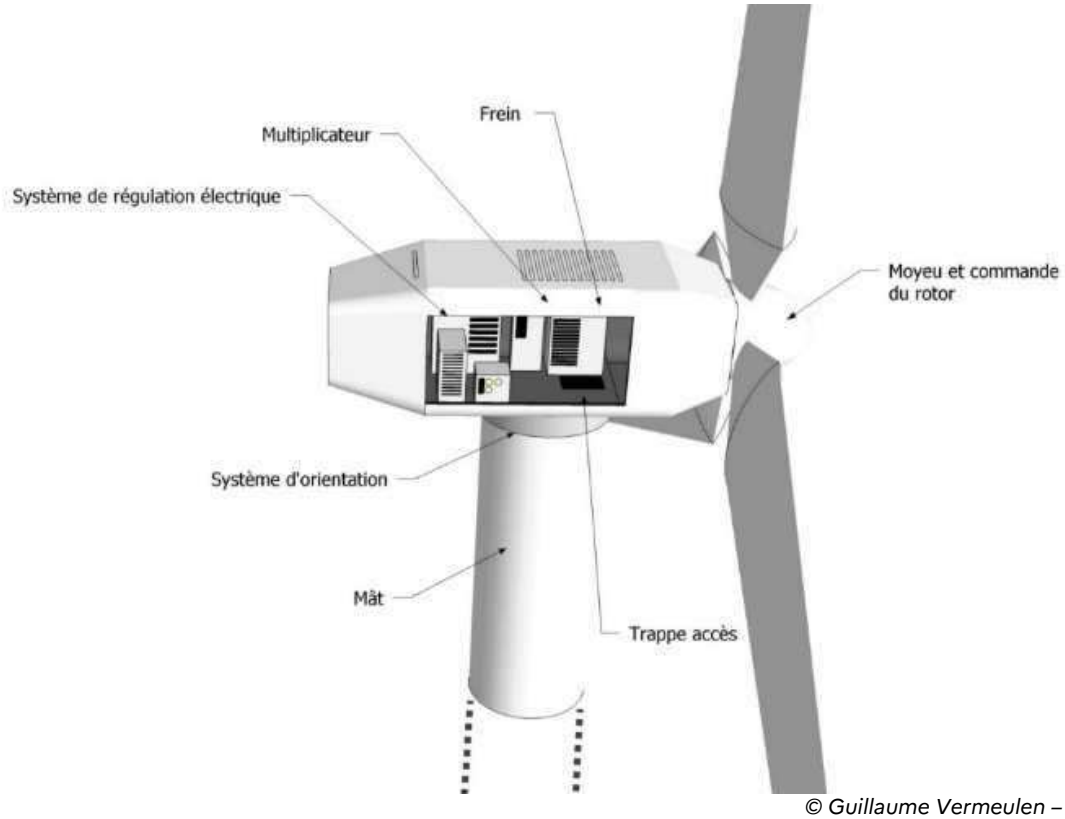
- l'auto évacuation des techniciens de maintenance si besoin ;
- l'acheminement de matériels via un treuil ;
- l'évacuation d'une victime par les équipes de secours.

4. **des pales,** en général au nombre de trois afin d'optimiser le rendement, dont l'axe de rotation correspond au centre de la nacelle. Un système d'orientation est intégré.

   Les pales[11] sont principalement fabriquées à partir de matériaux composites dans lesquels les résines et fibres ont une place importante. Ces matériaux dégagent des composés organiques volatiles, tel que le styrène[12].

   Sur le dessus de l'éolienne, on retrouve les équipements suivants :

   - un anémomètre ;
   - des capteurs météorologiques ;
   - des balises lumineuses d'obstacle ;
   - des points d'ancrage.



© Guillaume Vermeulen – SDIS 59

[10] La mise à disposition pour les services d'incendie et de secours des équipements antichute est à prescrire dans le cadre de la demande d'avis du dossier d'installation classée. Ces matériels doivent être utilisés selon les préconisations constructeurs et vérifiés avec l'exploitant avant la mise en service de l'aérogénérateur. Leur contrôle est à la charge de l'exploitant.

[11] Des opérations de maintenance existent également à l'extérieur des éoliennes, notamment pour les pales. Ces opérations sont effectuées soit par un accès via la nacelle, soit via des équipements spécifiques.

[12] Un engagement opérationnel à l'intérieur d'une pâle nécessite une protection respiratoire adaptée.

Chaque aérogénérateur dispose d'une aire de travail lors de sa phase de construction notamment pour la mise en place de grue mais aussi le retournement d'engin lourds.

Cette aire est conservée lors de la phase d'exploitation et permet le stationnement des véhicules de secours lors des diverses actions sur site.

Les voies d'accès aux parc éoliens sont généralement des chemins construits ou existants et réadaptés en voies carrossables lors de la phase de chantier des éoliennes.

Elles doivent être viables sur le long terme pour permettre la circulation des véhicules de secours lors de l'exploitation de l'installation.

Dans un cadre de prévision opérationnelle, il est important de repérer les itinéraires multiples ou uniques vers un parc éolien. D'identifier le dimensionnement de sa DECI. L'implantation de panneaux de signalisation et de balisage des parcs tout au long de ces voies facilitera l'accès des secours.

A la base du mât, on retrouve :

- le transformateur électrique (mais qui peut être présent dans la nacelle ou à l'extérieur de l'aérogénérateur) ;
- les armoires de contrôle-commande ;
- les batteries de secours ;
- des informations relatives à la sécurité dans l'éolienne (ex : plan d'évacuation et de secours) ;
- un dispositif d'arrêt d'urgence manipulable par des techniciens de maintenance.

L'accès dans le mat se fait par une porte blindée ou non, suivant des procédures d'ouverture définies entre le service d'incendie et de secours concerné et l'exploitant.[13]

3.2.2. Le fonctionnent d'une éolienne

L'éolienne utilise ainsi la vitesse du vent pour produire une énergie renouvelable à très faible émission de gaz à effet de serre et de déchets. L'énergie électrique produite par une éolienne varie en fonction de plusieurs paramètres essentiels : la forme et la longueur des pales, la vitesse du vent et la température qui modifie la densité de l'air.

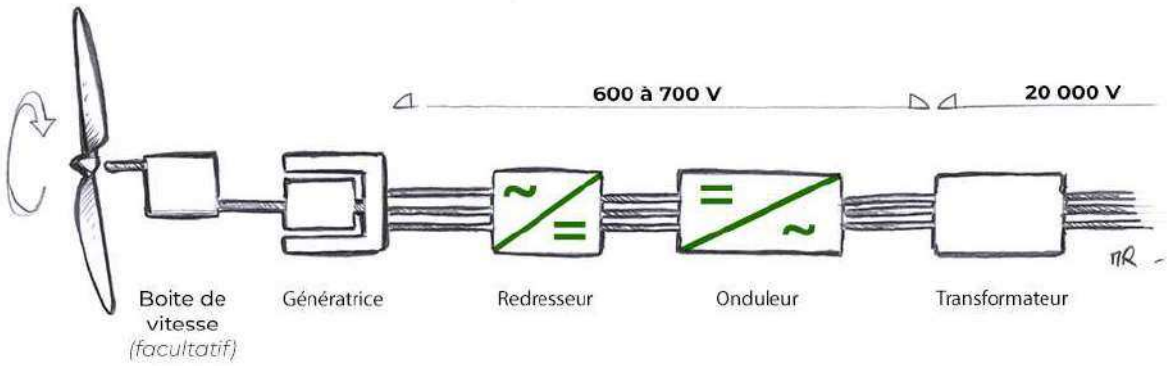


Schéma de principe de production électrique par une éolienne © Matthieu Robert

[13] Forcement de la porte ; récupération des clés dans le véhicule fermé du gestionnaire ou de l'opérateur (en cas de présence de celui-ci), ouverture d'une boite à clefs fixée en façade au moyen d'une polycoise ou d'un digicode.

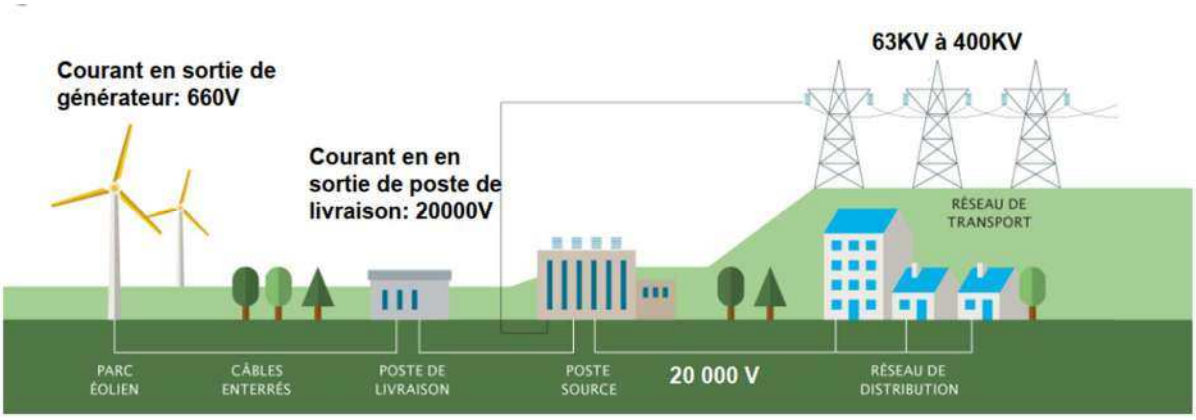
La production est aussi variable avec les saisons, l'hiver étant la plus favorable. Celle-ci fournit par l'intermédiaire d'un générateur une tension de 600 volts en courant continu.

Ce courant est ensuite ondulé et transformé en 20 000 volts pour être injecté dans le réseau de distribution.

Les éoliennes sont prévues pour des vitesses de vent comprises entre 4 et 25 m/s. Au-delà, un dispositif de freinage aérodynamique ou mécanique arrête automatiquement l'éolienne afin de sécuriser les équipements et d'en minimiser l'usure.

La puissance des éoliennes terrestres modernes est de 0,7 à 4 MW. C'est autour de 14 m/s que les éoliennes modernes fournissent leur puissance nominale.

3.2.3. Le raccordement au réseau électrique



L'aérogénérateur est raccordé au réseau électrique afin de :

- livrer sa production ;
- alimenter les parties de l'éolienne qui consomment de l'énergie (éclairage, armoires de commande, etc.).

Des câbles et équipements électriques sont présents :

- au sein de l'éolienne ;
- dans un réseau enterré entre l'installation et le poste de livraison.

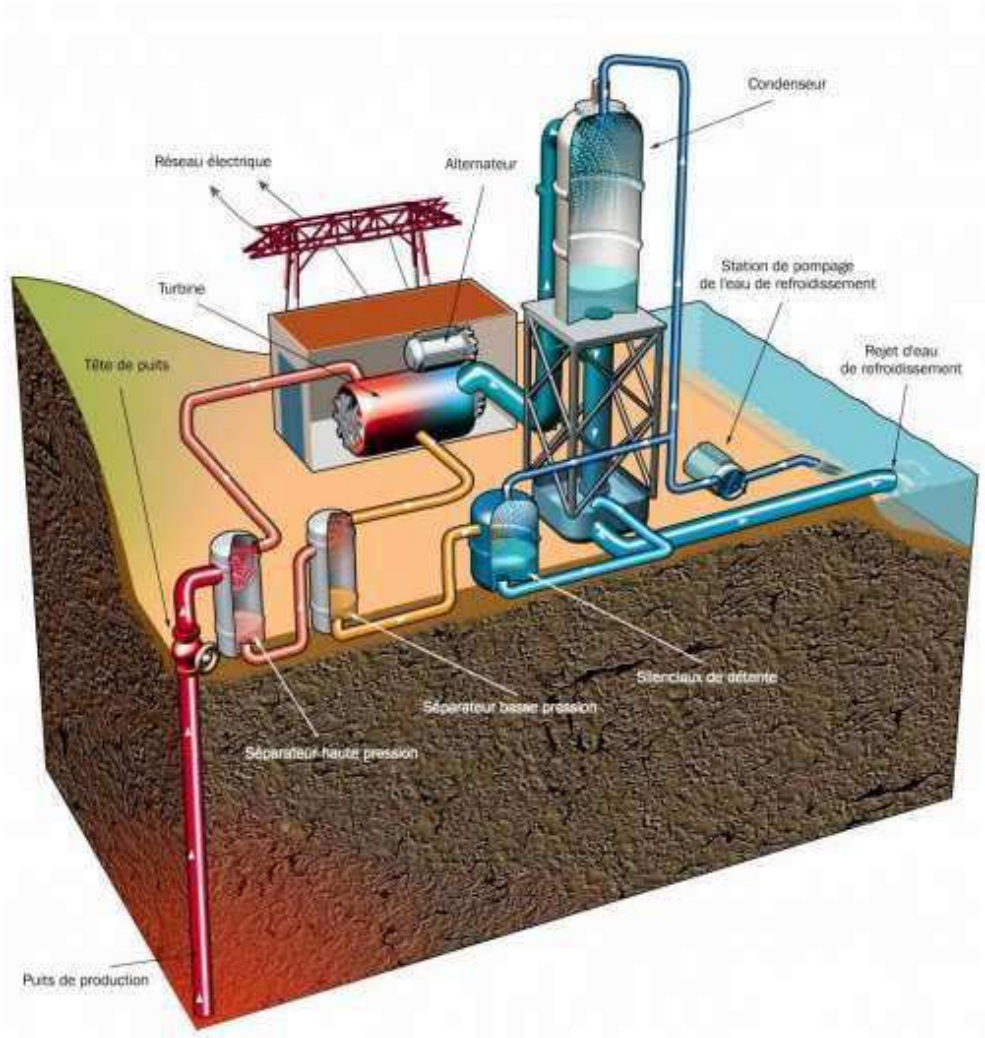
En fonction de la puissance des installations, le raccordement peut être fait sur le réseau de transport ou de distribution.

A la sortie du poste de livraison, la tension livrée (généralement) de 20 000 volts est injectée dans le réseau électrique.

3.3. La géothermie

Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité et/ou de la chaleur dans les centrales géothermiques, grâce à l'eau chaude des nappes dans le sous-sol de la Terre.

En certains points du globe, en particulier dans les régions volcaniques, qui correspondent à des intrusions de magma dans la croûte terrestre, les températures rencontrées peuvent atteindre jusqu'à 250-350 °C).



Principe de fonctionnement de la centrale de Bouillante
© ADEME/BRGM

3.3.1. Les différentes ressources géothermiques

- **par réservoir de vapeur**

Lorsque l'eau de gisement est partiellement vaporisée, elle est récupérée sous la forme de vapeur sèche directement utilisable pour faire tourner les turbines des centrales géothermiques. Mais ces gisements de vapeur sont relativement rares[14].

- **par réservoir d'eau chaude**

Pendant sa remontée vers la surface, l'eau chaude subit une baisse de pression. Elle se transforme alors en vapeur, de sorte qu'en tête de puits, sort un mélange eau-vapeur dont on peut utiliser la phase gazeuse pour alimenter des turbines.

- **par roches fracturées**

Elle consiste à récupérer la chaleur de roches chaudes en profondeur dans des sous-sols composés de roches naturellement fracturées, grâce à de l'injection d'eau :

- de l'eau froide est injectée à 5 000 m de profondeur par un puit ;

[14] Les plus connus sont Lardarello (Italie), Geysers (Californie) et Matsukawa (Japon).

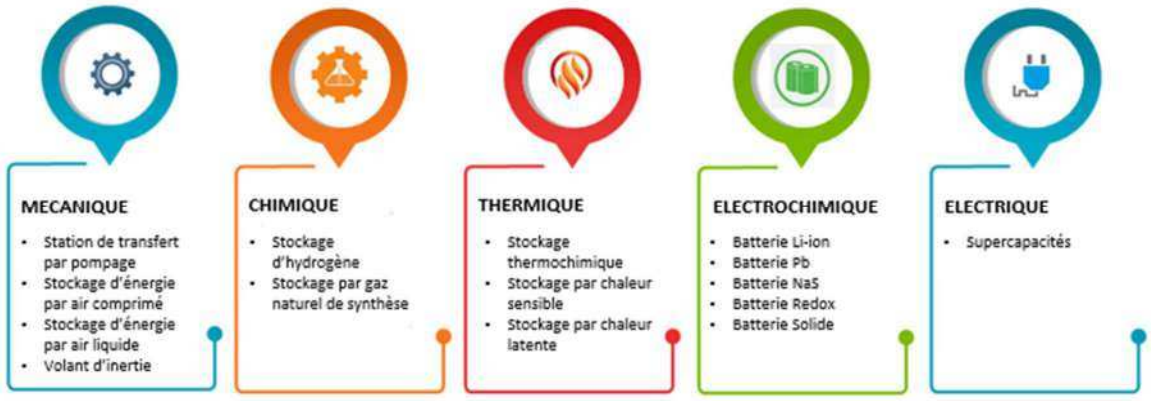
- l'eau circule dans les fractures et se réchauffe au contact de la roche chaude à plus de 200 °c ;
- l'eau est pompée par la centrale pour remonter à la surface par un 2e puits.

3.3.2. Les principes de fonctionnement

Une centrale géothermique produit de l'électricité grâce à la chaleur de la Terre qui transforme l'eau contenue dans les nappes souterraines en vapeur. La pression de cette vapeur fait tourner une turbine qui fait à son tour fonctionner un alternateur. Grâce à l'énergie fournie par la turbine, l'alternateur produit un courant électrique alternatif. Un transformateur élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à haute tension.
Une centrale géothermique est composée de 3 parties :

- la pompe ;
- l'usine qui produit l'électricité ;
- les lignes électriques qui la transportent.

4. Les systèmes de stockage de l'énergie



Système de stockage électrique (SSE) © Eric Holzmann

L'électricité est un vecteur très pratique pour le transport de l'énergie, mais difficile à stocker sous sa forme propre. Elle est donc généralement transformée pour être stockée sous une autre forme : énergie mécanique, thermique ou chimique par exemple.

Ainsi, les systèmes de stockage de l'énergie (SSE) ou *Energy strorage System* en anglais (ESS) sont donc devenus un enjeu mondial et un défi majeur[15]. L'apparition, sur le marché de la distribution d'énergie électrique, de systèmes de stockage électrochimique[16] de différentes échelles (quelques kWh à quelques MWh), met en exergue les risques que représentent ce type de système pour son environnement mais aussi pour les personnels de secours.

Aujourd'hui, les systèmes de stockages peuvent se retrouver dans différents contextes, combinaisons et applications.[17] Le système de stockage d'électricité dit « stationnaire » par opposition au stockage « embarqué » pour des applications mobiles, est le moyen évoqué dans ce guide.[18]

[15] Différents concepts de stockage d'électricité promis à un bel avenir : le *Vehicle To Grid* (V2G), les *smart grids*, le principe *de smart charging*, le projet *Amadeus*.
[16] Électrochimique. Se compose d'une batterie secondaire, d'un condensateur électrochimique, d'une batterie rédox ou d'un système batterie-condensateur hybride qui stocke l'énergie, et des commandes ou dispositifs associés pouvant fournir de l'énergie électrique à la demande
[17] Cf. annexe B
[18] Pour les batteries embarquées dans les véhicules se reporter au GDO « opérations de secours en milieu routier. »

4.1. Les systèmes de stockage électrochimique



Installation à la Réunion © Tesla

Le terme de « batterie » englobe un très grand nombre de systèmes de stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (stockage électrochimique). Elles permettent de convertir l'énergie d'une réaction chimique en énergie électrique. Rechargeables à la différence des piles, elles tirent parti de réactions électrochimiques.

BATTERIE Á ÉLECTROLYTE	DÉFINITION	EXEMPLE D'UTILISATION
AQUEUX	Ces batteries sont constituées d'un électrolyte à base aqueuse permettant une très bonne conductivité ionique (solution concentré d'acide sulfurique ou potasse), une disponibilité réduite, un coût réduit ainsi que la possibilité d'accepter facilement des surcharges[19].	Système d'alimentation de secours Automobiles Système de stockage des PPV
ORGANIQUE	Dans les batteries Li-ion et dans la technologie primaire au lithium, le solvant de l'électrolyte liquide n'est plus de l'eau mais un mélange de composés organiques.	Smartphone Vélo électriques Voitures électriques Container de stockage
SOLIDE	Plusieurs technologies de batteries à électrolyte solide existent. Certaines batteries de type Na-S1 et Zebra (Na-NiCl2) qui possèdent des électrolytes solides à base de céramique conductrice des ions sodium fonctionnent entre 200 et 350 °C. Les batteries à électrolyte polymère conducteurs des ions lithium peuvent fonctionner correctement au-dessus de 70°C.	Véhicules

La batterie électrochimique la plus produite est la batterie lithium-ion (Li-Ion), mais on trouve

[19] En effet, en cas de surcharge, le solvant de l'électrolyte (H2O) est décomposé en hydrogène (H2) aux électrodes négatives et en oxygène (O2) aux électrodes positives. La présence d'un simple élément de recombinaison (mousse imprégnée de catalyseur de platine par exemple) permet de reformer H2O à partir de ces deux gaz. Si les accumulateurs sont étanches, il n'y a donc théoriquement pas de perte d'électrolyte et le système n'est pas, ou peu affecté par les surcharges.

aussi des batteries lithium-polymère, lithium-air, sodium-soufre, plomb-acide, nickel-cadmium, et bien d'autres[20]. Les capacités de chacune varient en fonction des matériaux utilisés.

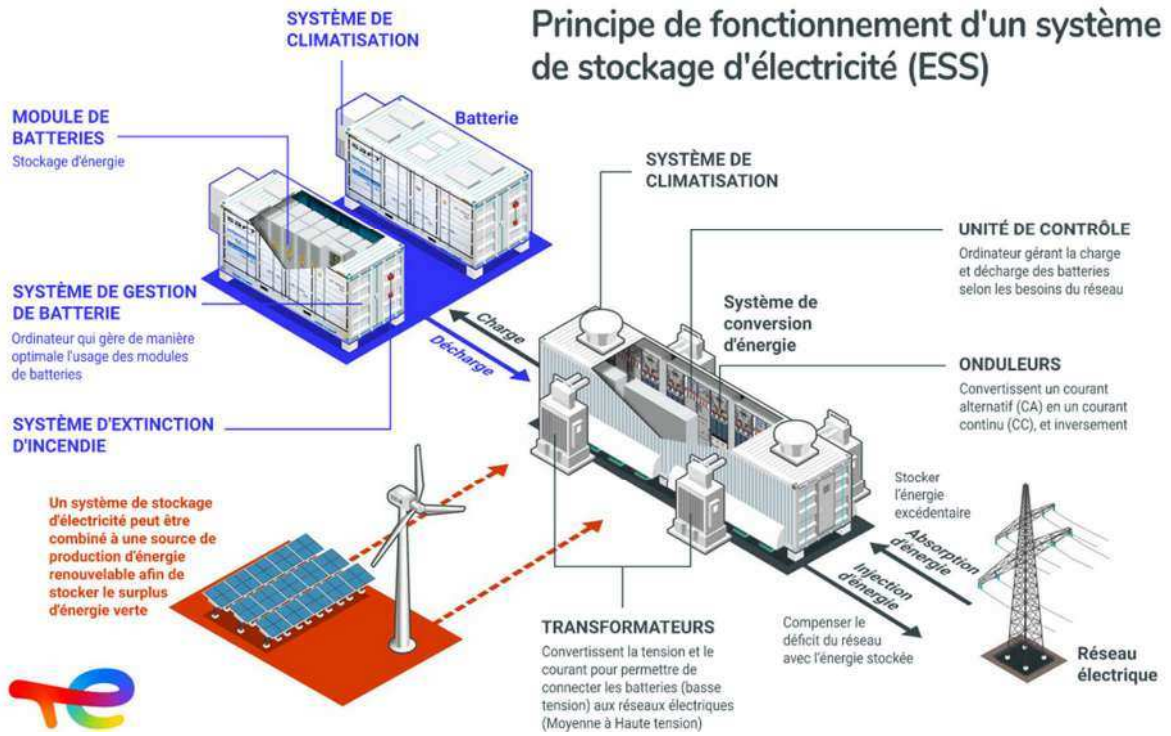
En stockage stationnaire, elles peuvent également être utilisées chez les particuliers, dans des bâtiments ou des petites collectivités, en soutien de l'autoconsommation photovoltaïque. Elles forment ainsi un élément-clé des réseaux électriques intelligents et de la smart city en devenir.

4.1.1. Les installations de stockage de batterie

Les installations de stockage par batteries se composent généralement d'un bâti ou d'une étagère pour les batteries, d'un système de refroidissement (c.-à-d. ventilateur, radiateur et tuyaux), d'un circuit électronique d'alimentation et d'une enceinte (l'enveloppe externe ou armoire) dans lesquels ces composants sont stockés.

Leur stockage peut se trouver localisé à tous les lieux d'une installation domestique (garage, dépendance, placard, cave, …), industrielle (locaux batteries, locaux techniques, armoires électriques décentralisées et implantées dans le site, …), ou d'infrastructure (bâtiments dédiés, abris extérieurs, conteneur maritime, postes de transformation/distribution, …).

Leur principe électrochimique fonctionne en courant continu contrairement à l'usage général qui est en courant alternatif. Par conséquent, le déploiement des stockages va consister à compléter les installations usuelles en courant alternatif par des installations et équipements en courant continu.



© Total Energies

[20] A plus long terme, les batteries au magnésium et les batteries métal-air pourraient être techniquement et économiquement intéressantes.

4.1.2. Les systèmes de sécurité

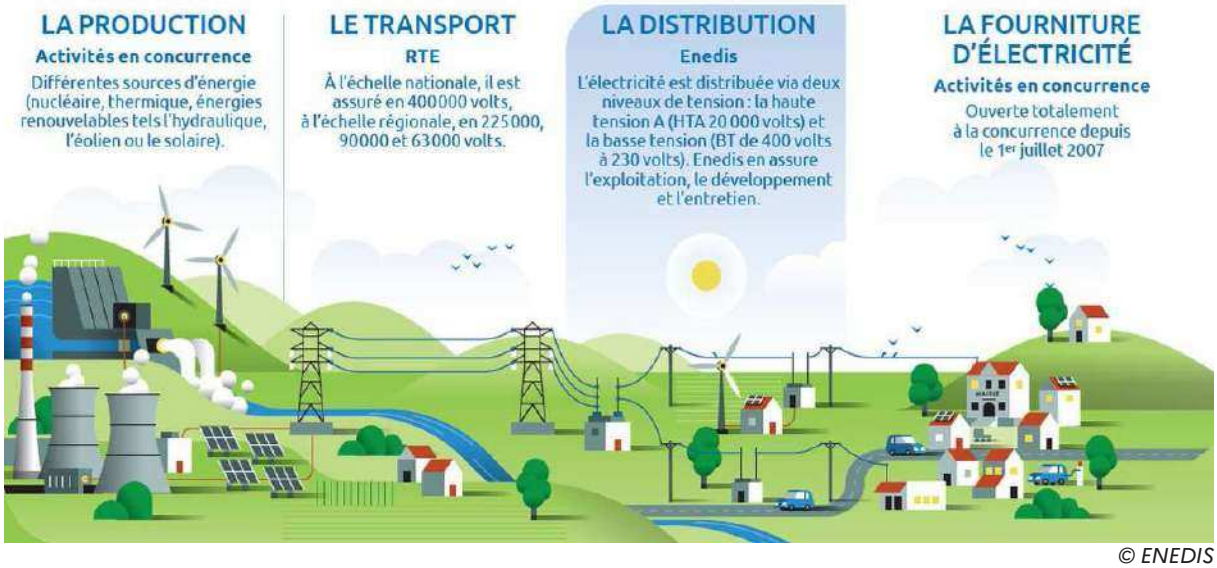
La conception même des systèmes de stockage électrochimique de l'énergie prévoit un certain nombre de protections :

- les évents de surpression permettant, au travers d'un disque de rupture, l'échappement des gaz générés à l'intérieur d'une cellule et l'évaporation de l'électrolyte ;
- les dispositifs de gestion des courants électriques tels que le « *Current Interrupt Device* » (CID) ou « *l'Overcharge Safety Device* » (OSD) ou les fusibles qui agissent sur la déconnexion physique du chemin de courant et/ou le « *Positive Temperature Coefficient* » (PTC) qui agit sur le blocage de courant en cas de surintensité ;
- les couches d'isolant électrique intégrées aux cellules métalliques afin de limiter la présence de grandes surfaces conductrices ou les séparateurs qui permettent également de mettre en protection une cellule lorsque le polymère fond et bloque ainsi la conduction ionique ;
- les emballages permettant, soit
- de constituer une protection contre les agressions mécaniques extérieures de par leur résistance à l'écrasement, au poinçonnement ou aux chocs ;
- au contraire, de se rompre facilement afin de libérer les éventuelles surpressions consécutives d'un emballement ;
- la détection incendie traditionnelle.

5. Les réseaux de transport et de distribution

L'électricité circule depuis le lieu où elle est fabriquée jusqu'à l'endroit où elle est consommée, par l'intermédiaire d'un réseau de lignes électriques aériennes ou souterraines formant une toile maillée pour le transport et organisé en artères pour la distribution (segments isolés qui ne sont pas connectés avec d'autres lignes).

Ce réseau permet de transporter et de distribuer l'énergie électrique sur l'ensemble du territoire français et même vers d'autres pays d'Europe (interconnexion).



© ENEDIS

L'acheminement de l'énergie électrique est organisé grâce à un réseau de transport et un réseau de distribution.

Il peut être comparé au réseau routier avec des grands axes, des axes secondaires et des échangeurs[21] :

- Electricité de France (EDF)[22] est un **producteur et fournisseur d'électricité ;**
- Réseau de transport d'électricité (RTE) : le **réseau de transport**[23] , joue le rôle du réseau des autoroutes et des routes nationales ;
- ENEDIS ou les entreprises locales de distribution (ELD) [24] : le **réseau de distribution**[25] joue celui du réseau des routes départementales ;

Ce réseau est constitué de nœuds/échangeurs électriques appelés « postes » dont la fonction est triple :

- l'aiguillage des lignes de même tension entre elles ;
- l'évacuation de l'énergie des sources de production vers le réseau ;
- la liaison entre les réseaux de tensions différentes (les opérateurs majeurs : RTE - ENEDIS et EDF-SEI pour l'outre-mer).

La consommation varie donc en permanence au cours de la journée et de l'année. Comme l'électricité ne peut pas se stocker, la production doit être ajustée à cette consommation.

5.1. Le réseau de transport de l'électricité

Ce réseau transporte l'énergie électrique des centres de production aux zones de consommation à l'échelle :

- nationale, via le réseau de grand transport et d'interconnexion, vers les grandes zones de consommation et les pays frontaliers afin d'assurer les échanges commerciaux et garantir la sécurité d'approvisionnement et la stabilité du réseau ;
- régionale et départementale, via le réseau de répartition, vers les agglomérations et les entreprises fortement consommatrices (sites industriels, voies ferrées, etc.).

Ce réseau HTB, transportant l'électricité à des tensions de 63 000 volts à 400 000 volts, est constitué de :

- lignes aériennes et souterraines.[26] Elles servent à relier plusieurs postes électriques entre eux. On parle alors de liaison électrique. Une liaison englobe les organes de coupures à chaque extrémité de la ligne. Ces organes sont propres à l'ouvrage ;
- postes électriques.

Des salles dispatching des centres exploitation de RTE assurent à distance la surveillance du réseau. Ces centres sont les interlocuteurs privilégiés des secours en cas d'incident.

Des acteurs locaux en groupement de postes assurent un relais sur place et veillent à la mise en sécurité en cas d'intervention sur les ouvrages de RTE.

[21] Arrêté du 17 mai 2001 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.
[22] En outre-mer les missions RTE et ENEDIS sont assuré par EDF SEI (système énergétique insulaire).
[23] U> 50 000V - RTE assure le transport de l'électricité depuis les centres de production jusqu'aux grands sites industriels et aux réseaux de distribution qui prennent le relais vers les consommateurs.
[24] Filiale à 100% d'EDF gestionnaire du réseau public de distribution à 95%. Les 5% restant sont gérés par des entreprises local de distribution (ELD).
[25] U< 20 000V - ENEDIS distribue l'électricité, c'est-à-dire l'achemine chez le client final. A ce titre, ENEDIS exploite, gère et entretient le réseau de lignes électriques français par lequel transite l'électricité.
[26] On emploie le terme « péninsule électrique » pour les territoires dont la consommation en électricité est assurée par des lignes à haute tension en nombre limité (ex : la Bretagne).

5.1.1. Les lignes aériennes

Le réseau est composé de lignes à :

- **400 000 volts pour le réseau de grand transport ou interconnexion**. Les lignes permettent de limiter les pertes d'énergie pour le transport de quantités très importantes d'électricité sur de longues distances.
  Des postes de transformation abaissent ensuite la tension à 225 000 V (HTB national), 90 000 V (HTB régional) ou 63 000 V (HTB régional) pour acheminer l'électricité en quantité moindre et sur de plus courtes distances[27] ;

- **225 000 volts pour le réseau de répartition régionale** jusqu'aux réseaux de distribution HTA, ainsi qu'aux grandes industries.



Le parcours d'une ligne électrique aérienne suit rarement une ligne droite car il tient compte de différents paramètres :

- environnementaux : les forêts, les parcs naturels… ;
- humains : les habitations, les exploitations agricoles, etc.



© Djamel Ferrand - DGSCGC

[27] Sur de grandes distances, les pertes d'énergie par dissipation thermique (effet Joule) sont conséquentes. On peut limiter ces pertes en augmentant la tension de l'électricité produite : à la sortie de la centrale, un transformateur augmente la tension du courant de 20 000 à 400 000 volts avant de l'injecter sur le réseau de transport.

Les lignes aériennes sont constituées de quatre éléments de base :

- les pylônes :

  - les lignes HTA ou HTB sont soutenues par des pylônes dont la forme et la largeur varient en fonction de l'environnement. Ces pylônes en acier sont souvent en « treillis » [28]) . Généralement, plus la tension de la ligne est élevée, plus les pylônes sont hauts. Les pylônes soutenant une ligne de 400 000 V peuvent atteindre 90 m de haut et sont espacés de plusieurs centaines de mètres les uns des autres ;
  - les lignes à moyenne tension et basse tension sont soutenues par des poteaux électriques généralement en bois ou en béton. Ceux-ci ne mesurent que 10 à 14 m de haut.

- une (des) plaque(s) [29] qui permet d'identifier et de localiser avec précision chaque pylône. Associée à un panneau de mise en garde, cette plaque comporte :

  - le numéro du pylône sur la ligne ;
  - le nom de la liaison (son point de départ et son point d'arrivée) ;
  - le niveau de la tension des câbles conducteurs.



- les câbles conducteurs : ils permettent d'acheminer le courant. Les câbles conducteurs sont « nus », c'est-à-dire que leur isolation électrique est assurée par l'air. La distance des câbles conducteurs entre eux et avec le sol garantit la bonne tenue de l'isolement. Cette distance est proportionnelle au niveau de la tension.

  - une ligne aérienne haute tension compte en général 3 câbles électriques les uns à côté des autres. Lorsqu'une ligne est composée de 6 câbles, il s'agit en fait de 2 lignes différentes (3 câbles par ligne) ;
  - les « câbles » peuvent être composés de 1 à 4 conducteurs appelés « faisceau » ;
  - un câble supplémentaire, appelé câble de garde, est généralement disposé au-dessus de la ligne de transport. Ce dispositif "passif" (pas de transport d'énergie) permet d'éviter des coupures brèves d'alimentation en détournant les impacts de foudre. Bien que passif, il est soumis aux phénomènes induits. Il peut présenter un risque électrique s'il est coupé.



© Djamel Ferrand - DGSCGC

[28] Assemblage formant une triangulation.
[29] Un pylône RTE dispose d'autant de de plaques d'identification que de lignes supportées.

- les chaines d'isolateurs :
    - l'isolement électrique entre le pylône et le câble sous tension est assuré par une chaine d'isolateurs. Elles sont d'autant plus longues et nombreuses que la tension est élevée. Elle se compose d'un nombre d'isolateurs supérieur ou égal à 4 pour le réseau de transport (RTE). La chaine d'isolateurs peut être doublée de manière à limiter les risques en assurant une redondance en cas de rupture sur des endroits à plus forte fréquentation (ex : surplomb d'une autoroute.)

Classification	THT (HTB transport national)		HT (HTB transport régional)	
Type de ligne	230/400 (420 KV)	130/225 (245 KV)	52/90 (100KV)	36/63 (75.5KV)
Appellation	400 KV	225 KV	90 KV	63 KV
Nombre d'isolateurs	19	12 à 14	9	4 à 6

5.1.2. Les lignes souterraines[30]

Les lignes souterraines sont des lignes (ou parties de ligne) qui ont été enfouies. On parle alors de liaison souterraine.

L'enfouissement des lignes de transport présente notamment l'avantage de protéger les lignes des effets du climat (tempêtes, chutes de neige, foudre ...) et de respecter certaines exigences environnementales ou encore d'être mieux intégrées dans le paysage.



© Christophe Perdrisot – DGSCGC

Toutefois cette technologie est beaucoup plus chère à mettre en œuvre ainsi qu'en cas d'intervention suite à avarie. Les lignes souterraines sont constituées de câbles isolés, de boites jonctions qui servent à raccorder deux câbles entre eux et d'extrémités appelés « têtes de câbles ». Ayant pour fonctions de faire le lien entre le câble souterrain et le câble aérien, elles peuvent se retrouver :

- en pleine terre ;
- en fourreaux ou caniveaux ;
- sur des ouvrages d'art ;
- en galerie ;
- immergées dans l'huile.

Il n'existe pas toujours d'identification nominative lisible sur un câble.
Il est très difficile de différencier une liaison souterraine RTE ou ENEDIS. Une étude plus poussée est donc nécessaire avant d'intervenir (lecture de plans, analyse des télésignalisations en cas de déclenchement, etc.)

Une plaque de couleur rouge permet d'identifier avec précision le passage d'une liaison souterraine dans le sol.

[30] En 2019, la longueur totale des lignes électriques en exploitation est de 105 942 km dont 99 527 km de lignes aériennes (en diminution de 128 km par rapport à 2018) et 6 415 km de lignes souterraines (en augmentation de 213 km par rapport à 2018).

Le nom de l'ouvrage et son niveau de tension y sont mentionnés (grillage avertisseurs rouge enterrés).

5.1.3. Les postes électriques



© Djamel Ferrand - DGSCGC

Il existe trois types de postes électriques :

- les postes aériens : l'isolation est obtenue par l'air. La sécurité des personnes est assurée par la distance entre les parties HT sous tension et les personnes circulant dans le poste ;
- les postes sous enveloppe métallique (PSEM): Les parties HT sous tension sont placées dans des caissons métalliques remplis d'un gaz isolant (SF6 – hexafluorure de souffre) sous pression ;
- les postes à encombrement réduit : L'isolation est assurée par l'air comme les postes aériens.

L'ensemble de ces postes est surveillé et piloté par un contrôle commande alimenté en basse tension alternative et continue. Ces installations ont trois fonctions :

- l'interconnexion entre les différentes lignes électriques (assurer la répartition de l'électricité entre les différentes lignes issues du poste) ;
- la transformation de l'énergie en différents niveaux de tension. La tension est abaissée à 225 000 V (HTB), 90 000 V (HTB) ou 63 000 V (HTB) pour acheminer l'électricité en quantité moindre et sur de plus courtes distances ;
- le raccordement d'un client (Enedis, SNCF ou sites industriels, producteur d'énergie, container de batteries, ….) au réseau d'électricité.

Chaque poste est identifié par une plaque associée à un panneau de mise en garde.





© Djamel Ferrand - DGSCGC

L'accès à l'intérieur du poste électrique n'est possible qu'accompagné par un agent de RTE ou ENEDIS

Ces postes électriques sont des lieux fermés et commandés à distance par des pupitres de commandes groupées (postes principaux). Ces ouvrages sont composés de quatre types d'appareils :

- des transformateurs qui abaissent ou élèvent la tension. Les transformateurs HTB à HTA sont situés à l'intersection entre le réseau de transport (acheminement longue distance) et le réseau de distribution. L'isolation est obtenue par de l'huile.
- des disjoncteurs, capables d'interrompre automatiquement le transit en cas de nécessité (séparation physique non visible).
- des sectionneurs, qui établissent ou interrompent un circuit à la demande, permettant l'aiguillage de l'énergie électrique (séparation physique visible).
- des capteurs de tension et de courant, permettant d'assurer la conduite et la protection du réseau.

Plus rarement ils peuvent comporter des bobines d'inductances, des condensateurs, voire des batteries.

Le fonctionnement des protections grâce au gaz SF6 au sein des cellules "transformateurs" peut engendrer un risque d'anoxie.

5.2. Le réseau de distribution[31]

Enedis est une filiale indépendante du groupe EDF et est le gestionnaire du réseau de distribution d'électricité public sur 95 % du territoire français métropolitain et réalise toutes les interventions techniques (raccordement au réseau électrique, dépannage, relevé de

[31] Long de 622 187 kilomètres, le réseau MT comporte une part rurale très importante. Ainsi, le réseau aérien, bien que décroissant progressivement, reste à ce jour plus long que le réseau souterrain.

compteur…), quel que soit le fournisseur d'électricité du client. Le réseau de distribution achemine l'électricité de ses 37 millions de clients, consommateurs ou producteurs, à partir de 1,4 Millions de kilomètres de lignes électriques.

Aux côtés des autorités organisatrices de la distribution d'électricité (AODE), autorités concédantes, Enedis pilote, développe et modernise le réseau électrique pour garantir à tous ses clients une alimentation électrique de qualité.

Avec ses 38 000 salariés et ses 800 implantations dans toute la France, Enedis remplit les missions de service public suivante :

- l'exploitation et la modernisation du réseau ;
- la conduite et le pilotage à distance du réseau ;
- le dépannage 24 h/24 et 7 j/7, en pouvant mobiliser des équipes de toute la France par exemple en cas de tempête ;
- le raccordement au réseau électrique des producteurs et consommateurs ;
- le comptage de la consommation et production d'électricité grâce au compteur *Linky* ;
- l'accompagnement des collectivités locales dans leurs projets de transition énergétique.

Il dessert en basse et moyenne tension, selon une architecture en arborescence, les consommateurs finaux : clients domestiques, industries et professionnels (commerçants, artisans, petites industries).

Elle circule d'abord sur des lignes HTA pour parcourir des moyennes distances et alimenter les industries et les entreprises. Puis la tension est abaissée une dernière fois par un autre transformateur qui alimente les clients particuliers et les petites entreprises en basse tension (230V/400V).

Il peut exister localement des sources de production qui injectent de l'électricité sur le réseau (éolien, microcentrales hydroélectriques, photovoltaïques…).

5.2.1. Les lignes électriques[32]

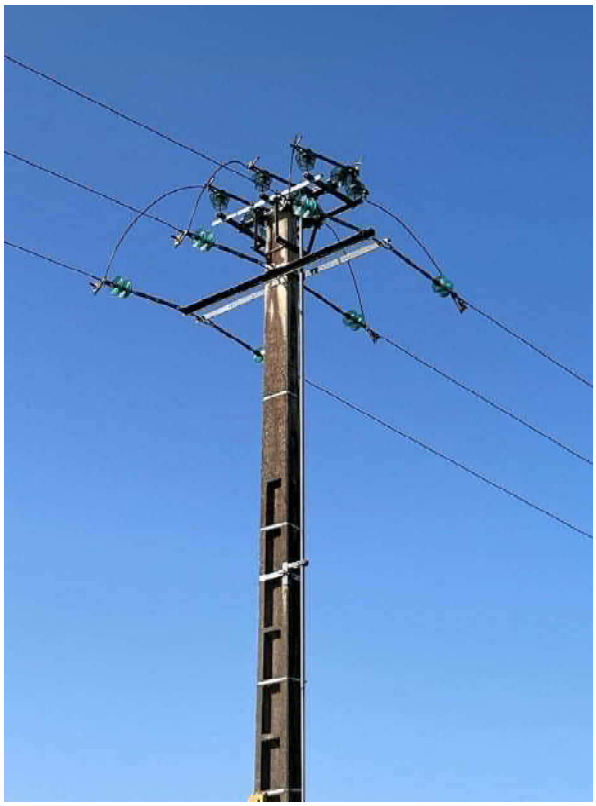
Les réseaux à BT et HTA du distributeur sont réalisés en technique aérienne ou souterraine[33]. Les lignes aériennes ont des conducteurs qui peuvent être soient nus ou isolés et positionnés sur des poteaux métalliques en bois, ou en béton, de différentes hauteurs et en façade.

Les supports de distribution ne sont pas identifiés sauf dans le cas où un appareil de manœuvre ou un transformateur sont installés dessus.



© crédit

[32] Article 24 de l'arrêté du 17 mai 2001 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.
[33] Identification d'installation BT HTA ou HTB et éclairage par dispositifs avertisseurs à caractéristiques visuelles - grillage de couleur rouge (NF EN 12613)



Réseau HTA
20 000 V

3 fils (nus ou gainés)
3 phases



Réseau BT
230 V et 400 V

4 fils (nus ou gainés) en triphasé (3 phases et un neutre) et 2 fils en monophasé.
Écartement des fils : 30 cm[34]

© Djamel Ferrand - DGSCGC

5.2.2. Les postes sources (HTB – HTA)

Un poste source est un ouvrage qui relie le réseau de transport d'électricité au réseau public de distribution d'électricité en :

- transformant la tension HTB en HTA ;
- dirigeant l'énergie électrique vers plusieurs canalisations haute tension, appelées « départs » (HTA).



Le poste peut être situé à l'extérieur (enceinte grillagé), à l'intérieur d'un bâtiment ou en souterrain. Ce sont des installations sensibles permettant d'alimenter un grand nombre de clients.

L'accès à l'intérieur du poste source n'est possible qu'accompagné par un agent de l'entreprise d'ENEDIS ou RTE.

[34] Avec ces réseaux, peuvent être rajoutés des conducteurs d'éclairage public.

5.2.3. Les postes de transformation (HTA – BT)

Un poste HTA/BT est une installation, inaccessible au public, assurant la liaison entre le réseau haute tension HTA et le réseau basse tension (BT).

Le local qui compose le poste HTA/BT peut être un petit bâtiment construit à cet usage, ou un local mis à disposition dans un immeuble, des postes préfabriqués ou enterré ou sur poteau.

Ces locaux sont accessibles uniquement accompagné par un agent Enedis.



Poste préfabriqué



Poste socle



Poste sur poteau



Poste maçonné



Poste Tour



Vue de l'intérieur

© Djamel Ferrand - DGSCGC

5.2.4. Le réseau basse tension (400V – 230V)

Les lignes de distribution basse tension sont les plus petites lignes du réseau électrique. Elles servent à alimenter les ménages, les artisans et les très petites industries en électricité[35].

Issues des postes de transformation HTA/BT, les lignes BT sont construites, en faisceaux de conducteurs isolés ou en conducteurs nus, sur poteaux ou sur façades ou en câbles souterrains[36]

Chaque circuit BT est protégé par un jeu de fusibles ou de disjoncteurs placé en sortie de transformateur. Le branchement se situe entre le réseau BT et le point de départ de l'installation intérieure de l'utilisateur. Sa protection est assurée par des fusibles côté distributeur et un disjoncteur côté utilisateur.



Armoires électriques



Réseau basse tension



Descente aéro-souterraine

© Djamel Ferrand - DGSCGC

[35] En France, elles représentent plus de la moitié du réseau national avec quelque 655.000 kilomètres de lignes parmi lesquelles près de 215.000 kilomètres de lignes souterraines.

[36] La réalisation des réseaux et des branchements souterrains est soumise à de nombreux textes réglementaires fixant en particulier les conditions de pose, les couvertures minimales des câbles et les distances entre les différents réseaux des concessionnaires.

5.2.5. Les installations clients

Le réseau de distribution électrique livre l'énergie électrique jusqu'au point de livraison (aérien ou enterré) du client.

L'installation électrique est composée :

- du compteur électrique ;
- d'un coupe-circuit principal individuel ;
- d'un disjoncteur général (manoeuvrable par les sapeurs-pompiers) ;

Les installations électriques délivrent deux types de courant :

- **le courant monophasé** transporte de l'électricité en une seule et unique phase (230 V);
- **le courant triphasé**, quant à lui, transporte de l'électricité en 3 phases (400 V).

Dans les habitations collectives, un coffret coupe-circuit principal collectif, accessible depuis le domaine public, permet de mettre hors tension l'intégralité de l'immeuble ou de la cage d'escalier qu'il dessert (y compris l'alimentation des services communs). **Il est manœuvrable uniquement par un technicien qualifié.**

D'autres éléments peuvent faire partie intégrante des installations électriques : c'est le cas du délesteur et du contacteur heures creuses.

5.2.6. Les infrastructures d'éclairage publics, de signalisation, de service

Ces installations peuvent desservir des récepteurs tels que les mobiliers urbains, bornes foraines ou autres installations situées sur le domaine public. Selon leur objet, elles peuvent avoir un fonctionnement permanent ou intermittent. Les installations d'éclairage public par exemple ont couramment un fonctionnement nocturne à allumage automatique. Elles peuvent aussi être activées durant la journée lors d'un orage ou d'un essai de fonctionnement.

Ces réseaux sont des installations qui fonctionnent soit en BT soit en HTA.

DOMAINE BT	DOMAINE HTA
- 400 V entre phases - 240 V entre phase et neutre - Hauteur de 4 à 6 m - Profondeur : 0,70 m	- 3 000 V à 6 000 V - Ces installations sont uniquement souterraines. - Profondeur : 0,70 m

Le câble téléphone est composé de plusieurs fils réunis dans une seule est même gaine. Il n'est pas torsadé et de diamètre bien plus petit que les câbles électriques. Il est situé bien en dessous du câble électrique.

5.2.7. Les spécificités des établissements recevant du public (ERP)

Certains ERP du 1er groupe peuvent être équipés de groupes électrogènes permettant la continuité de service des installations électriques. Il est identifié deux types de groupes électrogènes :

- les groupes électrogènes de remplacement (GER) pour la reprise des installations classiques (aux choix de l'exploitant, pas d'obligation réglementaire) ;

- les groupes électrogènes de secours (GES) pour le reprise des installations de sécurité.

Un dispositif de mise hors tension (type arrêt d'urgence) se trouvant en amont du TGBT. Ce dispositif, facilement accessible aux secours, permettra de couper l'ensemble des installations électriques classiques.

En revanche, une action sur l'arrêt d'urgence ne coupera pas le courant sur les installations de sécurité (SSI, désenfumage, etc.). Un courant résiduel peut également être retrouvé sur les onduleurs.

6. L'emploi de l'électricité dans les transports



© Djamel FERRAND – DGSCGC

6.1. Les trains à vocation de transport urbain

Les lignes de métro, RER sont exploitées par la régie autonome des transports parisiens (RATP), entres autres, pour Paris ou par d'autres gestionnaires ferroviaires (groupe Kéolis, RTM, etc.) pour les autres villes en France.

L'énergie électrique HTB, livrée en 63 kV ou en 225 kV sur des postes répartis dans les agglomérations, est transformée en une tension de 15 kV redistribuée par deux réseaux de câbles distincts :

- vers des postes éclairage et force (PEF) assurant l'alimentation en 400 V alternatif pour l'exploitation des stations, bâtiments et ateliers ;
- vers des postes de redressement[37] (PR) assurant l'alimentation traction en courant continu 750 V pour le métro et 1 500 V pour le RER.

[37] Les postes de redressement (PR) sont situés le long des lignes de métro et servent à transformer la haute tension alternative distribuée par les postes HT en moyenne tension continue que les rames peuvent utiliser.

L'alimentation électrique est transmise par les voies qui se composent de :

- deux rails de roulement (le long desquels circulent les roues des rames)
- d'un rail « de traction » (1 rail pour le métro fer et deux rails pour le métro pneus) qui fournit de l'électricité en courant continu à une tension de 750 volts au moteur de chaque rame. Ce rail peut être placé entre les rails de roulement ou à l'extérieur (rail latéral). Les rames de métro disposent de frotteurs situés à côté des roues qui captent l'électricité par contact avec ce rail.

Pour le RER ou certains TRAM-train certaines parties du réseau peuvent disposer d'un tronc commun (par exemple, le train avec un conducteur SNCF emprunte le réseau RATP «1 500 V» pour le RER). Les autres lignes ou portions de ligne du RER sont gérées par la SNCF (caténaires).

6.2. Les trains à vocation de transport urbain ou suburbain,

Le système tramway ou bus trolley est un système de transport guidé urbain ou suburbain dont l'infrastructure du système est alimentée directement par le réseau de distribution ENEDIS et dispose de ses propres postes de redressement pour transformer le courant alternatif 20 000 V fourni en courant continu 750 V. Le courant transformé est dirigé vers les lignes aériennes de contact (LAC) reliées à la rame.

6.3. Les trains à vocation de transport de voyageurs et de marchandises

En France, la moitié du réseau ferré est aujourd'hui électrifiée (15 000 km) et les lignes concernées assurent la très grande majorité de la circulation du trafic voyageur (90%). L'ensemble des engins électriques qui circulent en France sont connectés au réseau ferré national (RFN). Chaque entreprise ferroviaire est libre de choisir son fournisseur d'électricité.

Les réseaux sont alimentés soit dans le cas le plus général, par une ligne aérienne de contact[38] soit par des accumulateurs de bord. Le réseau électrique ferroviaire géré par SNCF réseau est alimenté par le réseau public de transport d'électricité.

Des sous-stations et des postes de traction électriques sont raccordés aux réseaux de distribution, gérés essentiellement par RTE - ENEDIS et d'autres gestionnaires locaux.

Situés près des voies, ces postes d'alimentation transmettent l'électricité à travers la ligne aérienne de contact (LAC) ou caténaire qui alimente le train par les pantographes. Ils transforment le courant reçu en courant 25 000 volts alternatif ou 1 500 volts continu selon les cas.

7. Les acteurs

La gestion des opérations de secours ou des interventions nécessite souvent de recourir de manière concomitante aux compétences d'acteurs publics, parmi lesquels nous trouvons principalement :

- les centres de réception des alertes (CTA, CRRA, CORG, CIC, etc.)
- les centres opérationnels (CODIS, COD, COZ, COGIC) ;
- les services de l'état (DREAL, DRIEE, ARS, etc.) ;
- les forces de sécurité publique (police nationale, gendarmerie, police municipale etc.) ;
- les partenaire de santé (SAMU, hôpitaux, etc.) ;
- les gestionnaires de l'énergie (RTE, Enedis, GRDF…) ;

[38] Une locomotive électrique peut être mono-courant (alimentée par un seul type de courant) ou bien polycourant, c'est-à-dire apte à utiliser plusieurs types de courant. De même, les locomotives peuvent être bi-mode (à la fois thermique et électrique).

- les associations agréées de sécurité civile (AASC) ;
- les armées ;
- etc…

Cependant certaines opérations de secours ou interventions nécessitent de faire appel à des techniciens et des experts dans des domaines particuliers relevant d'opérateurs publics ou privés.

Binôme COS – Exploitant : dans toutes les opérations partagées avec les partenaires opérationnels des SIS, le COS et le représentant de l'opérateur forment un binôme. Les intentions du COS comme les conseils techniques de l'opérateur doivent être partagés.



Tant qu'il est présent le commandant des opérations de secours est chargé de la mise en œuvre de tous les moyens publics et privés mobilisés pour l'accomplissement des opérations de secours.

7.1. Le réseau de transport et de distribution d'électricité

Les interlocuteurs du réseau de transport d'électricité (RTE)[39] sont les suivants :

- le chargé de conduite (CCO) : Il est situé au niveau des dispatchings. C'est généralement lui qui reçoit l'appel des secours et réalise la mise hors tension d'urgence de l'ouvrage ;
- **le cadre d'astreinte transport (CAT) :** Il a la responsabilité managériale de coordonner les moyens RTE à mettre en œuvre pour l'opération de secours et prendre les mesures pour assurer la sécurité électrique tout au long de l'intervention ;
- le chargé d'exploitation (CEX): Situé au niveau du groupement de Poste, il connaît l'état du réseau en permanence, lui permettant d'assister le CAT ;
- **le représentant RTE sur site:** Il est l'interlocuteur direct des secours sur le lieu de l'accident. Il analyse la situation quant au risque électrique qu'il partage avec le CAT et le CEX. Il relaie les décisions du CAT aux équipes de secours. Il assure la surveillance électrique de l'opération de secours.

Les interlocuteurs d'ENEDIS sont les suivants :

- les opérateurs des centres d'appels dépannage : porte d'entrée pour les services de secours, ils vont, par la suite, transférer la demande d'intervention aux différents services concernés ;
- les techniciens.

Il appartient à chaque SIS de formaliser un annuaire regroupant les principaux opérateurs opérationnels et les entreprises locales de distribution le cas échéant.

7.2. Les moyens de transport

Quel que soit le type de ligne, conventionnelle ou à grande vitesse, les principaux interlocuteurs des services d'incendie et de secours sont :

- le coordonnateur du centre opérationnel de gestion des circulations (COGC). Ses coordonnées figurent dans le plan d'intervention et de sécurité (PIS) de l'établissement

[39] Toutes opérations de secours à proximités des ouvrages RTE à moins de 5 m des lignes ou dans les postes électriques seront réalisés sur autorisation et aux conditions fixées par le Représentant RTE sur place. RTE met en œuvre une procédure interne spécifique pour la prise en charge des victimes en détresses vitales.

infrastructure circulation (EIC) où se produit l'événement. Il est l'interlocuteur du CODIS ;

- le chef d'incident local (CIL), dès son arrivée sur les lieux de l'événement. Il est l'interlocuteur du COS. Le CIL est identifiable par le port d'une chasuble spécifique de sa fonction. En l'absence de CIL, le coordonnateur du COGC est l'interlocuteur unique et permanent des services de secours.

En cas d'incident important, un chef d'incident principal (CIP) est désigné comme interlocuteur permanent du DOS et du COS. Le CIP est identifiable par le port d'une chasuble spécifique de sa fonction.

En cas de changement de CIL, le COS en est informé. De même, en cas de changement de CIP, le DOS et le COS en sont informés.

Il appartient à chaque SIS de formaliser un annuaire regroupant les principaux opérateurs opérationnels et les entreprises ferroviaires locales le cas échéant.



© Léonard Ortuso – SDIS 77

Le danger est la propriété intrinsèque d'une substance, d'un processus, d'une situation, d'un outil, d'un matériel, d'une personne pouvant entraîner des conséquences néfastes ou dommageables à l'égard de personnes, y compris le sapeur-pompier durant l'opération, des animaux, de l'environnement ou des biens.

Le risque quant à lui est la probabilité, la potentialité que les effets du danger se produisent. Le plus souvent la notion de risque implique que le danger soit perçu par l'individu qui prend des risques.

Le mot « danger » est souvent associé au mot « risque ». Il arrive que des dictionnaires proposent « risque » comme synonyme de « danger », ce qui explique pourquoi un grand nombre de personnes utilisent indifféremment ces termes.

1. L'accident électrique de personnes[40]

L'accident électrique regroupe toutes les lésions de l'organisme, temporaires ou définitives, provoquées par le courant électrique et qui sont dues :

- à un effet direct du courant électrique lorsqu'il traverse les tissus (cerveau, cœur, nerfs, vaisseaux…) ;
- au traumatisme contondant provoqué par une contraction musculaire violente ou par

[40] Ou d'animaux.

la chute de la victime (éjection) ;
- à la chaleur ou de lumière dégagée (flash) lors d'un court-circuit électrique.



L'électrisation est l'ensemble des lésions provoquées par le passage d'un courant électrique à travers le corps. Le terme électrocution est réservé à une électrisation mortelle, soit immédiatement, soit très précocement.

1.1. Les causes

On distingue différents types d'accidents électriques :

- l'accident par contact avec deux conducteurs sous tension ou un conducteur sous tension et la terre provoquant un passage de courant dans le corps (contact direct) ;
- l'accident par contact indirect avec une pièce conductrice mise accidentellement sous tension ;
- l'accident sans contact, dit « à distance » (amorçage) ;
- l'incendie provoqué par des arcs électriques lors de court-circuit ou par l'accumulation d'électricité statique générant des étincelles ;
- la tension de pas.

En France, on estime à une centaine par an le nombre d'accidents mortels d'origine électrique, toutes origines confondues :

- les accidents du travail ;
- les accidents domestiques : appareils ménagers électriques défectueux, surtout en ambiance humide (cuisine, salle de bain), bricolage d'installation électrique, enfants en bas âge en phase de découverte… ;
- les accidents dus à des conduites à risque (ascension de pylônes, marche sur le toit d'un wagon à proximité d'une caténaire…) ;
- les accidents de loisirs à proximité de lignes électriques (parapente, pêche) ;
- le foudroiement : La foudre est la forme d'électricité naturelle la plus dangereuse. Elle est responsable d'une vingtaine d'accidents mortels par an.

1.2. Le mécanisme de l'électrisation

1.2.1. Les effets de l'électricité sur l'organisme

Le courant électrique peut endommager tous les organes qui se trouvent sur son chemin par trois mécanismes différents, en fonction de son intensité[41] (en ampères - A) et de son voltage (en volts - V) :

- un effet de stimulation / inhibition nerveuse et musculaire ;
- des brûlures électriques : destruction de la peau et des tissus en profondeur jusqu'à la carbonisation ;
- la destruction irréversible de la membrane cellulaire par le passage du courant dans le corps.

D'une manière générale, le courant suit le chemin offrant le moins de résistance électrique entre le point d'entrée et le point de sortie du corps.

La recherche de ces points d'entrée et de sortie doit être systématique afin de guider

[41] En alternatif

l'évaluation des organes traversés. Il s'avère aussi important de connaître l'intensité du courant susceptible d'avoir traversé une personne exposée.

La résistance globale du corps humain (ou l'impédance) est une variable importante dans la détermination de cette intensité. Elle dépend de multiples facteurs classés par ordre d'influence :

- la tension de contact ;
- le degré d'humidité de la peau (l'eau favorise la conduction du courant) ;
- la surface de contact entre la source de courant et la personne (plus elle est importante, plus l'impédance corporelle est faible) ;
- le temps d'exposition (un contact prolongé diminue la résistance au courant de la peau) ;
- la fréquence (plus elle augmente, plus le corps est conducteur).

En fonction de l'intensité du courant traversant le corps humain, plusieurs seuils de danger y sont définis :

- le seuil de perception (valeur minimale du courant provoquant les premières sensations) ;
- le seuil de réaction (le courant est responsable de la contraction de certains muscles) ;
- le seuil de paralysie respiratoire, valeur importante en sécurité électrique (calibrage des différentiels) ;
- le seuil de non lâché ;
- le seuil de fibrillation cardiaque.

Le liquide amniotique étant un excellent conducteur électrique, la grossesse devra être systématiquement recherchée pour évaluer toute atteinte du fœtus[42]. Il est important de ne pas oublier les circonstances de l'accident électrique et de rechercher les éventuelles complications traumatiques d'une chute ou d'une projection de la victime.

De plus, même si la victime ne présente aucun signe, des manifestations secondaires peuvent apparaitre.

Les courants de basse tension (<1000 V) présentent surtout un risque cardiovasculaire immédiat, alors que les courants de haute tension (>1000 V) sont plus volontiers responsables de brûlures tissulaires profondes et graves qui peuvent engager secondairement le pronostic vital.

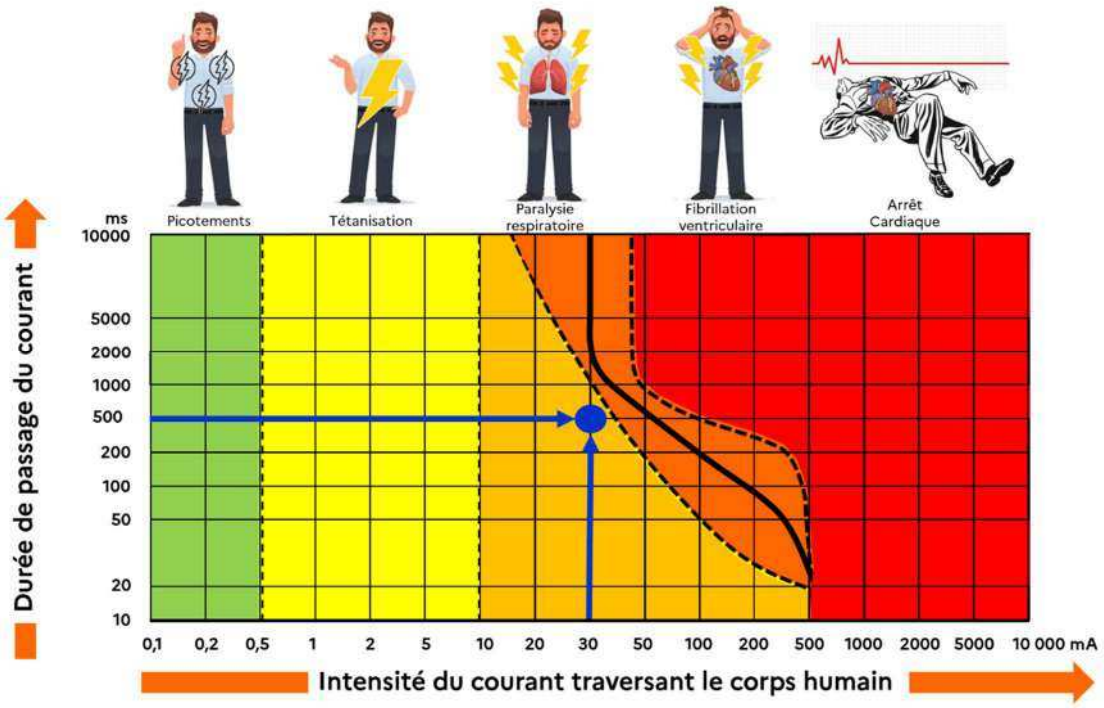
1.2.2. Les seuils de danger

En-dessous d'une valeur maximale appelée « tension limite conventionnelle de contact » (UL), la tension de contact peut être maintenue indéfiniment sans danger pour les personnes.

La valeur de cette tension limite ainsi que les seuils de danger varient selon la nature du courant :

- en courant continu, la « tension limite conventionnelle de contact » (UL) est prise égale à 60 V ;
- en courant alternatif, la « tension limite conventionnelle de contact » (UL) est fixée à 25 V.

[42] Au cours d'une grossesse, le risque d'avortement spontané est grand au premier trimestre. On rapporte des taux de mortalité de 50 % au troisième trimestre (intérêt de la surveillance des mouvements fœtaux).



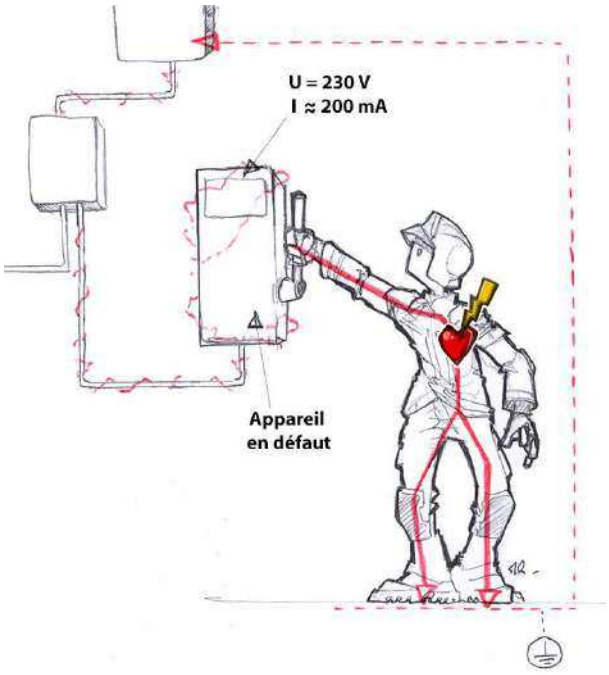
Les seuils de danger © Francis Magnolini – DGSCGC.

1.3. Les accidents électriques

Il y a choc électrique[43] lorsqu'un courant électrique traversant le corps humain provoque des effets physiopathologiques effectifs.

Pour qu'il y ait passage du courant à l'intérieur du corps, deux points au moins doivent être à des potentiels différents : les deux mains, une main et un pied, la tête et une main, la tête et un pied, etc.

Le corps humain est généralement en contact avec le potentiel de la terre. C'est pourquoi il est primordial d'identifier toute apparition d'un potentiel dangereux accessible afin de prévenir tout risque.



Le choc électrique © Matthieu Robert

Les normes assurent la prévention contre les chocs électriques (installation client) en situation non dégradée.

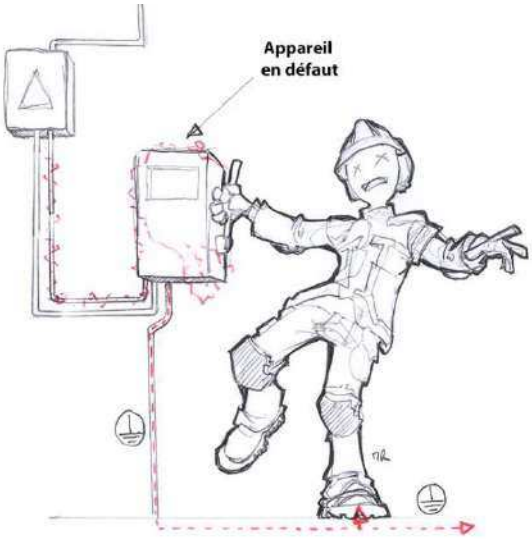
Par voie de conséquence, les principaux risques d'ordre électrique proviennent des situations dans lesquelles l'installation est dégradée et/ou non conforme.

[43] Ne pas confondre avec choc électrique externe qui correspond à un acte médical.

1.3.1. Le contact indirect

Ce type de situation se produit principalement lorsqu'une personne est en contact simultané, d'une part avec la terre, d'autre part avec une masse métallique portée accidentellement sous tension.

Cette masse peut être l'enveloppe métallique d'appareils électroménagers ou une carcasse d'onduleur, habituellement hors tension mais qui, en cas de défaut interne, peut être portée pendant un court instant à un certain potentiel



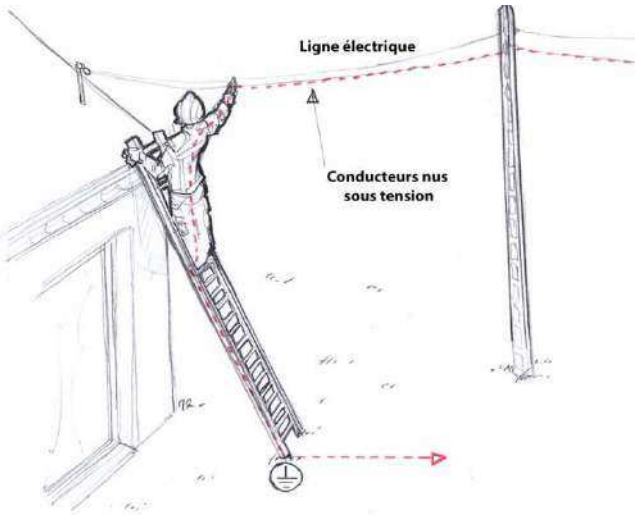
Choc électrique par contact indirect © Matthieu Robert

1.3.2. Le contact direct

Ce type de situation se produit lorsqu'une personne est en contact avec une partie active d'un conducteur électrique, c'est-à-dire une partie susceptible de se trouver sous tension en service normal.

Parmi ces conducteurs, figurent notamment les âmes conductrices[44] des câbles électriques (phase ou neutre coté alternatif et polarité + ou – coté courant continu).

La personne sera très probablement victime d'un choc électrique dans cette situation.



Contact direct d'une part avec un conducteur actif et d'autre part avec la terre au travers de l'échelle © Matthieu Robert

1.3.3. Le phénomène d'amorçage

Le fait de s'approcher, sans même la toucher, d'une ligne électrique peut provoquer un arc électrique ou un amorçage avec un risque d'électrocution.

En présence d'un isolant endommagé la distance de sécurité est de 5 mètres.

Les distances d'amorçage sont de l'ordre du millimètre en basse tension et de l'ordre de plusieurs centimètres en haute tension.



© Guy Turlier - ENEDIS

[44] C'est la partie métallique qui conduit le courant électrique. C'est la partie conductrice du conducteur.

1.3.4. L'arc électrique

Un arc électrique est un « flash » susceptible de se produire à l'ouverture ou la fermeture d'un circuit électrique (avec deux potentiels rapprochés : neutre et phase) dont les isolants sont défectueux ou en reliant deux potentiels avec un matériau conducteur.

Le phénomène s'accompagne d'une onde de choc appelée « coup d'arc électrique » pouvant occasionner des atteintes graves et des dommages importants.

Accident dû à un arc électrique	Risque sur l'homme	Détail
Pression très dangereuse	Risque de blessures dû aux éclats projetés dans l'environnement	La sublimation du cuivre (transformation de l'état solide à gazeux) est de 67 000 plus volumineux.
Onde sonore pétaradante	Perte d'audition voire surdité	Entre 140 et 160 dB (l'équivalent d'une course de Formule 1 ou d'un avion au décollage)
Éclats de métal à très haute vitesse	Risque de blessures et de brûlures très graves	Le métal fondu peut se propager avec une vitesse de 1 600 km/h
Chaleur extrême	Risque de brûlures très graves	Entre 200 °C et 20 000 °C
Rayons lumineux très intenses	Détérioration de la vue voire cécité. Formation de cancers	Rayons ultraviolets et infrarouges
Vapeurs toxiques	Intoxication des poumons	La fusion du cuivre et de l'acier des installations et appareils électriques crée du plasma chaud pouvant être inhalé

Dans les installations électriques, un court-circuit provoque un flash pouvant avoir des conséquences importantes. L'arc électrique peut être, pour l'homme, à l'origine de **brûlures** plus ou moins graves et pour les installations un risque de feu ou d'**explosion**.

1.3.5. Les incendies ou explosion d'origine électrique

Les incendies d'origine électriques sont souvent causés par des installations défectueuses ou des phénomènes naturels :

- un arc électrique ;
- un court-circuit ;
- une surcharge ;
- un courant de fuite ;
- une surtension du réseau ;
- un emballement thermique de batterie ;
- la foudre.

1.4. La tension de pas

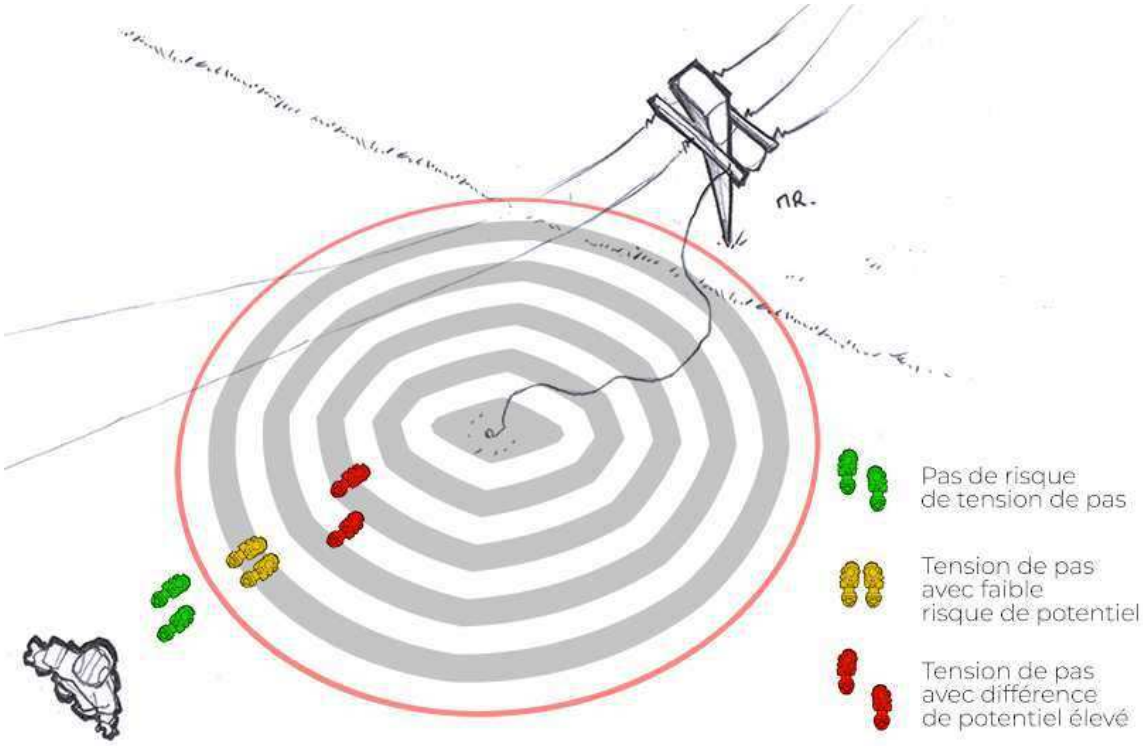
Lors de la mise en contact accidentelle d'un conducteur électrique « haute tension » avec le sol, directement (chute d'un câble) ou indirectement (par l'intermédiaire d'un engin aérien ou de levage), le courant s'écoule dans la terre en se diffusant autour du point de contact, plus ou moins rapidement selon la nature et l'état du sol, du conducteur, etc.

La « tension de pas » est la différence de tension entre les pieds d'une personne se tenant debout près d'un point d'entrée du courant à la terre.

Le risque pour les personnes est alors de subir, à distance, une électrisation par le simple contact simultané de leurs deux pieds écartés avec le sol.
Dans une zone à risque, il faudra inviter les intervenants et victimes à se déplacer en faisant des petits pas, voire de s'éloigner de la zone à cloche-pied (risque de chute).

Sortir d'un véhicule potentiellement sous tension présente le même risque que toucher un conducteur potentiellement sous tension, sauf si la victime est en capacité de sauter du véhicule (ne pas être en contact simultané véhicule/terre). Le risque c'est une électrisation par contact indirect.

- pas de 1 m = 1000 V
- pas de 0,5 m = 500 V
- tout petit pas = tension faible (faire un périmètre de 8 m pour éviter la tension de pas et les projections de métal en fusion lors d'un court-circuit).



La tension de pas © Matthieu Robert

1.5. Le foudroiement

C'est une action par laquelle une personne, une chose est foudroyée.

1.5.1. Les différents effets physiologiques de la foudre

Les accidents dus à la foudre ne sont pas nombreux mais leurs conséquences peuvent être importantes. Une personne peut être touchée par la foudre de différentes façons[45] :

- le coup de foudre « **direct** » : la foudre entre par la partie supérieure du corps et ressort dans le sol au niveau des membres inférieurs ;
- le foudroiement par éclair « latéral » : la foudre frappe un objet faiblement conducteur avant de bifurquer latéralement vers un élément plus conducteur situé à proximité (ex : homme abrité sous un arbre) ;
- le foudroiement par « **tension de pas** » : lorsque la foudre touche un point au sol une différence de potentiel se créée formant ainsi un courant pouvant traverser les membres inférieurs d'un individu ;

[45] Extrait de « *protection contre la foudre des installations classés pour la protection de l'environnement », INERIS, décembre 2011*

- le foudroiement par « **tension de toucher** » : une personne subit ce type de foudroiement lorsqu'elle touche un objet conducteur qui est traversé par la foudre ;
- le foudroiement par « **courant induit** » : foudroiement par captage capacitif d'une des ramifications d'un coup de foudre ;
- le foudroiement par « **différence d'impédance »** avec le milieu ambiant.

1.5.2. Les conséquences du foudroiement[46]

L'énorme quantité d'énergie reçue par l'homme lors d'un foudroiement cause souvent une mort instantanée. Dans certains cas, si les victimes ne décèdent pas, elles peuvent avoir des séquelles comme :

- des kéraunoparalysies des deux ou quatre membres. Ces paralysies sont réversibles en quelques heures voire quelques jours ;
- des assourdissements, l'explosion créée par le tonnerre peut entraîner une rupture du tympan ;
- des conséquences psychologiques : crises d'angoisse dans les semaines qui suivent le foudroiement, des maux de têtes, etc. ;
- des brûlures. Les points d'entrée et de sortie de la foudre sont souvent marqués par des brûlures du 3ème degré. La fusion de bijoux, de boucles de ceintures entraîne elle aussi des brûlures plus ou moins graves ;
- troubles de la vision par atteinte directe du cristallin, la foudre peut provoquer une brûlure de la cornée et de la rétine.

Lorsque le courant effectue un arc de contournement c'est-à-dire qu'il ne passe pas en profondeur dans le corps mais circule seulement en surface cutanée, la foudre laisse des traces éphémères appelées figures de Lichtenberg[47].

1.6. Lors des opérations d'extinction

L'accident électrique lors des opérations d'extinction, dès lors que l'alimentation électrique n'a pas été interrompue avec certitude, peut se produire :

- soit par contact des intervenants avec des eaux de ruissellement mises en contact avec un conducteur nu alimenté ;
- soit par transfert de l'électricité au travers du jet de la lance utilisée ;
- soit par dilatation des câbles qui vont s'abaisser voir crée une rupture du conducteur ;
- soit par conductibilité des fumées d'incendie au contact d'un conducteur sous tension au travers du jet diffusé de la lance.



Une forte chaleur modifie les caractéristiques isolantes de l'air. Plus l'air est chaud, moins il est isolant. Ce phénomène favorise l'apparition d'un arc électrique avec le sol et peut être dangereux pour toute personne proche de la ligne.

Les fumées lourdes[48] riches en particules, peuvent également favoriser l'apparition d'un arc électrique. En conséquence, lors d'un incendie, le respect d'une distance de dix mètres est primordial ainsi que l'utilisation d'un jet diffusé d'attaque.

[46] La kéraunopathologie est la spécialité biomédicale qui étudie le foudroiement et les blessures causées par les coups de foudre sur les hommes.
[47] Du nom du physicien allemand Georg Christoph Lichtenberg qui les a découvertes et étudiées. Ces traces en forme de feuilles de fougère seraient dues à l'éclatement des capillaires sanguins suite au passage du courant.
[48] Incendie de pneumatiques, d'hydrocarbures, etc.

2. Les spécificités liées aux panneaux photovoltaïques

En comparaison avec les installations électriques couramment rencontrées, les installations photovoltaïques présentent des spécificités :

- en fonctionnement normal, la tension continue créée par le générateur photovoltaïque est convertie en tension alternative via l'onduleur ;
- en journée, comme la nuit (éclairage artificiel direct), la source de tension ne peut être interrompue ;
- couper l'électricité provenant du réseau alternatif ENEDIS n'empêche pas le champ solaire de rester sous tension ;
- une coupure du courant continu en amont de l'onduleur n'interrompt pas la tension des panneaux photovoltaïques.

2.1. Les risques électriques des installations photovoltaïques



© Bastien Guerche – DGSCGC

Les normes assurent la prévention contre les chocs électriques en situation non dégradée. Par voie de conséquence, les principaux risques d'ordre électrique proviennent des situations dans lesquelles l'installation est dégradée.

2.1.1. Le risque de choc électrique au contact des panneaux

Les connexions des cellules dans chaque module photovoltaïque sont assurées par des soudures. Il est donc impossible, en situation opérationnelle, d'intervenir directement sur ces branchements internes pour interrompre la présence d'une tension au niveau d'un module. Un module, pris individuellement, ne présente à ce jour pas de risque mortel pour l'homme car la tension en circuit ouvert est très généralement inférieure à 60 V continus.

Dans une installation photovoltaïque, les panneaux étant branchés en série, les tensions s'additionnent. Les tensions en sortie de chaîne et de champ atteignent généralement plusieurs centaines de volts.

2.1.2. Le risque d'arc électrique

L'ouverture accidentelle d'un circuit photovoltaïque qu'il soit en charge ou en court-circuit entraine la formation d'un arc électrique très difficile à interrompre et qui peut être à l'origine d'un départ de feu, d'un choc électrique, de brûlures, d'éblouissement, etc.

Quelle que soit la configuration des installations *DC* PV ou *AC*., le contact direct avec un élément conducteur électrique actif (isolant détruit, enveloppe ouverte…) peut causer un choc électrique fatal pour le sapeur-pompier.

3. Les spécificités liées installations de stockage par batteries

Selon le système, la structure et les matériaux utilisés, les risques intrinsèques potentiels sont de natures diverses. Ils se caractérisent par un évènement non-souhaité initial qui produit la situation de risque, et génère le flux de danger (emballement, incendie, écrasement, choc, surcharge, etc.). Ce système se caractérise par :

- un ensemble de cellules d'accumulateurs et batteries d'accumulateurs, composés d'électrodes baignant dans un électrolyte, emballés au sein de cellules,
- un circuit électrique permettant la transmission de l'électricité,
- un dispositif d'encloisonnement de taille et de conception variable (boîtier, caisson, container, etc.) permettant de protéger l'ensemble des agressions extérieures.

Aussi, la première difficulté rencontrée réside dans l'incapacité à :

- identifier, en amont, la présence d'un système de stockage électrochimique de l'énergie ;
- localiser le stockeur une fois arrivé sur les lieux[49].
- identifier sa chimie. Du type de chimie dont se compose le stockeur dépendent des risques qui peuvent différer;
- accéder aux stockeurs. La conception même de la plupart des stockeurs peut en compliquer l'accès pour les services de secours (ex. : armoire murale chez un particulier, caisson type conteneur maritime chez un industriel ou un ERP, locaux fermés à clé, etc.

De par la conception même des systèmes de stockage électrochimique de l'énergie, les risques chimiques, incendies et électriques doivent être considérés comme présent que ce soit tout au long de son cycle de vie mais aussi tout au long de l'intervention des services de secours.

Il existe trois grands types de risques à savoir, électrique, chimique, d'incendie ou explosif.



Vapeurs d'électrolyte inflammables suite à inertage de la batterie © Nicolas Chantreuil – SDIS 73

[49] Les normes en vigueur n'imposent pas, à l'heure actuelle, de marquage spécifique sur les locaux à risques particuliers rendant ainsi impossible l'identification de la présence d'un stockeur à l'intérieur d'un local qu'il soit lui-même identifié à risques particuliers ou non. Les plans d'intervention qui existent chez un industriel ou dans un établissement recevant du public ne font pas mention non plus de l'éventuelle présence de ces stockeurs et encore moins de leur capacité ou leur technologie.

En cas d'incapacité à évacuer suffisamment la chaleur, le système de stockage électrochimique de l'énergie peut engendrer des réactions en chaîne pouvant s'accélérer et conduire à un phénomène d'emballement thermique. Cette problématique est renforcée par :

- le risque d'emballement différé dans le temps. Le retour d'expérience montre en effet des réactions d'emballement intervenues plusieurs heures voire plusieurs jours après un choc ou un incendie ;
- le risque d'emballement généré, à distance, par un court-circuit sur des câbles ;
- le risque d'entretien de la réaction par production d'oxygène en interne du stockeur, même en milieu confiné ;
- des signes précurseurs difficilement observables (augmentation de la température, augmentation de la tension, ondes de vibrations).

<table>
<tr><th>RISQUE ÉLECTRIQUE</th><th>ORIGINES</th></tr>
<tr><td>Il est permanent du fait de l'impossibilité d'interrompre la tension présente sur la batterie elle-même et sur les câbles en sa sortie jusqu'à un éventuel interrupteur sectionneur. Il est important de prendre en considération que :

• la tension est continue entre le stockeur et l'onduleur-chargeur puis alternative entre ce dernier et l'application ou le réseau ENEDIS auquel il peut être relié,
• des sources multiples et non-interruptibles sont de plus en plus présentes.</td><td>• Contact direct ou indirect avec les bornes ou les connectiques de la batterie.
• Mise en court-circuit de la batterie.
• Création d'un arc lors des opérations de déconnexion de la batterie.</td></tr>
<tr><td colspan="2">CONSÉQUENCES</td></tr>
<tr><td colspan="2">• Electrisation, voire électrocution (brûlures internes, contractions musculaires, perturbations du rythme cardiaque, décès…).
• Arc flash (brûlures externes, projections de métal en fusion, atteintes oculaires et auditives…).</td></tr>
<tr><th>RISQUE CHIMIQUE</th><th>ORIGINES</th></tr>
<tr><td>Le fonctionnement d'un système de stockage électrochimique de l'énergie diffère selon le type de batterie.</td><td>• Emballement thermique de la batterie suite à un dysfonctionnement : fuites d'électrolyte et dégagement de composés dangereux.
• Chargeur non adapté ou utilisation abusive.
• Libération de poussières toxiques lors des procédés de recyclage des batteries.</td></tr>
<tr><td colspan="2">CONSÉQUENCES</td></tr>
<tr><td colspan="2">• Présence d'électrolyte dangereux et d'électrodes renfermant des oxydes métalliques toxiques (conséquences selon composition : brûlures de la peau, effets néfastes sur certains organes en cas d'ingestion, d'inhalation ou de contact cutané, lésions oculaires graves, allergie cutanée…)
• Ecoulement ou dégagement gazeux de composés dangereux en cas d'utilisation abusive (expositions par inhalation et par contact cutané)</td></tr>
<tr><th>RISQUE INCENDIE / EXPLOSIF</th><th>ORIGINES</th></tr>
<tr><td>Du fait de la présence d'éléments métalliques, d'électrolytes chauffées à des températures importantes, de matières plastiques, les incendies de systèmes de stockage électrochimique de l'énergie sont réputés à fort potentiel calorifique. Deux paramètres vont influer sur une éventuelle toxicité particulière des fumées amenée par les batteries :

• la taille/puissance des batteries ;
• le type de milieu : confiné ou à l'air libre.</td><td>• Emballement thermique de la batterie suite à un dysfonctionnement : dégagement gazeux.
• Chargeur non adapté.
• Utilisation d'électrolytes et d'électrodes combustibles ou inflammables (dont lithium et ses alliages).</td></tr>
<tr><td colspan="2">CONSÉQUENCES</td></tr>
<tr><td colspan="2">• Formation d'atmosphères explosives (émission hydrogène).
• Création d'une source d'inflammation, départ d'incendie (échauffement, flammes, court-circuit…).
• Projection de matière enflammée (électrodes, électrolyte).
• Le risque d'effets missiles dus à la fragmentation des enveloppes des stockeurs ou à la projection de modules pouvant être éjectés à plusieurs dizaines de mètres de nature à blesser gravement les populations et services de secours se trouvant autour du stockeur.
• Ce type très spécifique d'incendie, qui ne nécessite pas d'oxygène pour brûler, peut atteindre des températures de 600°C (assez pour faire fondre l'aluminium).</td></tr>
</table>

CHAPITRE 3 - La sécurité des intervenants



© Léonard Ortuso – SDIS 77

La sécurité des intervenants repose sur la connaissance de la doctrine applicable à l'opération de secours, la formation des personnels spécialistes ou non et le port d'équipements de protection individuelle (EPI) adaptés aux dangers. **Les primo-intervenants** revêtiront donc les EPI[50] dont ils disposent en fonction de la situation. L'implication des primo-intervenants dans une opération de secours dépend également des limites d'emploi des équipements à leur disposition. **Les spécialistes** quant à eux, disposent d'équipements propres.

Des incidents pouvant se produire tout au long de l'action des sapeurs-pompiers, il convient donc de porter un effort sur les missions suivantes :

- assurer le suivi de la situation en matière de sécurité du personnel engagé ;
- élaborer un dispositif tactique d'évacuation d'urgence ;
- assurer la logistique et le soutien santé de l'opération de secours ;
- rester en contact permanent avec les chefs de secteur pour évaluer et gérer les risques (notamment structurels) ;
- communiquer et échanger avec les différents services engagés aux côtés des services de secours (opérateurs de l'électricité, expert, exploitant, etc.).

Après analyse de la balance « bénéfice / risque », le COS établira donc son idée de manœuvre en fonction des équipes, du matériel, du risque et des enjeux.

[50] Cf. le mémo de mes EPI et de notre sécurité.

1. Les règles générales

L'analyse fine de la situation (contexte, environnement, effets, etc.), la prudence et l'intelligence de situation (sauvetage, formation d'arc électrique, anoxie, etc.) restent les règles de base afin d'éviter tout risque aux intervenants (électrisation, voire électrocution) et de voir apparaitre une dégradation de l'intervention par des effets directs ou indirects.

Cette analyse doit précéder toute opération d'ordre électrique ou non électrique lors de chaque phase de travail.

Aussi, compte tenu de la spécificité de ce type d'intervention, il est primordial d'assurer une coordination continue avec l'homme de l'art habilité dans le domaine.

En outre, toute activité effectuée sur un ouvrage doit être accompagnée d'un ensemble de mesures de sécurité :

- assurer la sécurité du personnel placé sous ses ordres et des tiers, vis-à-vis de tous les risques discernables[51] ;
- se prémunir contre les risques dus aux parties actives voisines de celles sur lesquelles il doit intervenir ;
- n'entreprendre aucune activité sur un ouvrage ou dans l'environnement d'un ouvrage normalement en exploitation sans l'accord du chargé d'exploitation ;
- prendre, en cas de situation dangereuse inopinée, toute mesure provisoire propre à écarter le risque et d'avertir le chargé d'exploitation.

Aussi, la première mesure à conduire est la mise hors tension de l'installation électrique par le personnel connaissant les dispositifs et les risques :

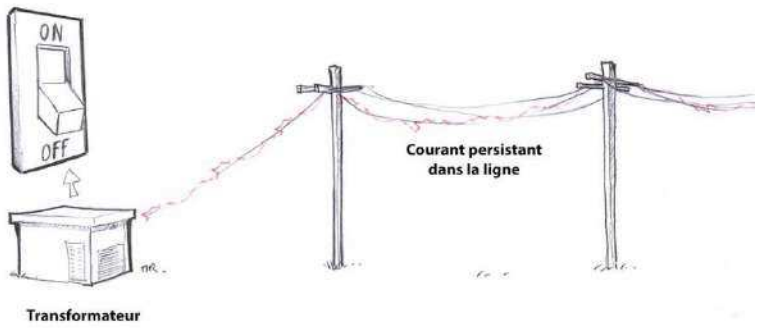
- manœuvrable par les sapeurs-pompiers : interrupteur sectionneur – disjoncteur du particulier ;
- manœuvrable par les personnes habilitées : installation particulière - RTE – Enedis – ELD).

Le matériel disposé à demeure dans les locaux ne pouvant être garanti d'un point de vue de l'entretien et de ses qualités isolantes, il ne doit pas être utilisé par les intervenants

2. Les différentes possibilités de mise en sécurité

2.1. La mise hors tension

La mise hors tension d'une ligne correspondant à l'arrêt de l'alimentation en électricité au travers de celle-ci.



© Matthieu Robert

[51] Fumées d'extinction qui peuvent engendrer un contournement des isolateurs des réseaux électriques avoisinants

Dans les habitations et bâtiments à usage industriel, commercial ou tertiaire, la mise hors tension est réalisée en actionnant le disjoncteur général ou un appareil général de commande et de protection (AGCP).

L'arrêt d'urgence d'un matériel (système coup de poing) n'assure pas obligatoirement la mise hors tension.

La mise hors tension BT est réalisée sur les lieux de l'intervention par les techniciens. Les manœuvres sur le réseau HTA sont pilotés par l'agence de conduite régionale soit à distance soit par l'intermédiaire d'un technicien sur le terrain.

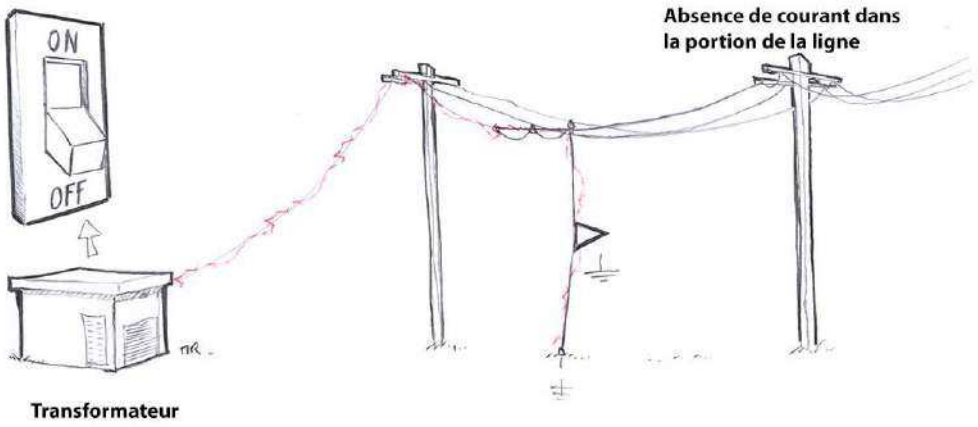
La proximité d'autres ouvrages électriques de haute tension est susceptible de faire circuler un courant dangereux dans la ligne mise hors tension par phénomène soit d'induction magnétique soit de couplage capacitif.

2.2. La consignation

La consignation sécurise les interventions et permet d'intervenir en toute sécurité sans aucun risque de retour de courant (hors installation sauvage ou installation propre au client).

Elle se traduit par cinq opérations dont la mise à la terre et le court-circuit de la portion de ligne impactée par l'intervention (câble au sol, victime sur ouvrage, actions de lutte contre les feux de forêt, etc.).

Le départ de l'agent entraine obligatoirement la fin de la consignation. Si le technicien est obligé de partir et si la ligne doit rester consignés pour la réalisation de l'opération, un certificat pour tiers de consignation (CTC) est remis au commandant des opérations de secours.



© Matthieu Robert

Certaines installations ne disposent pas d'organe de coupure permettant aux services de secours de supprimer totalement le risque électrique.

2.3. Le matériel spécifique de sécurité

Au regard du domaine de compétence des sapeurs-pompiers, seules les interventions sur le domaine de la basse tension (inférieure à 1 000 V en courant alternatif et 1 500 V en courant continu) sont possibles en sécurité. Néanmoins, afin d'effectuer une reconnaissance en toute sécurité **dans ce domaine de tension,** une approche d'un véhicule ou d'un ouvrage sous tension, le port de matériel ou d'outillage spécifique de sécurité (dispositif d'électro-alerte, détecteurs de tension, bottes, gants, etc.) est obligatoire pour s'affranchir notamment du risque de tension de pas.

Le principe de protection des intervenants en présence d'une source électrique alimentée repose sur l'isolement :

- entre la source électrique et le sapeur-pompier ;
- entre le sapeur-pompier et le sol.

La formation et le contrôle périodique du bon état du matériel ainsi qu'une vérification annuelle sont gages de la sécurité des intervenants.

3. Lors des opérations d'extinction

Toutes les mesures doivent être prises pour permettre l'extinction et assurer des sauvetages, si nécessaire. Aussi, la mise hors tension par ailleurs et sa confirmation est la priorité du COS avant tout engagement d'équipe dans la conduite de l'extinction.

Elles nécessitent au préalable d'évaluer les impacts directs d'une telle coupure (ascenseur, matériel médical, train bloqué sur les voies, etc.) et de mettre en œuvre toutes les mesures palliatives.

Il faut s'assurer que le courant ne puisse être rétabli par une fausse manœuvre ou un tiers.

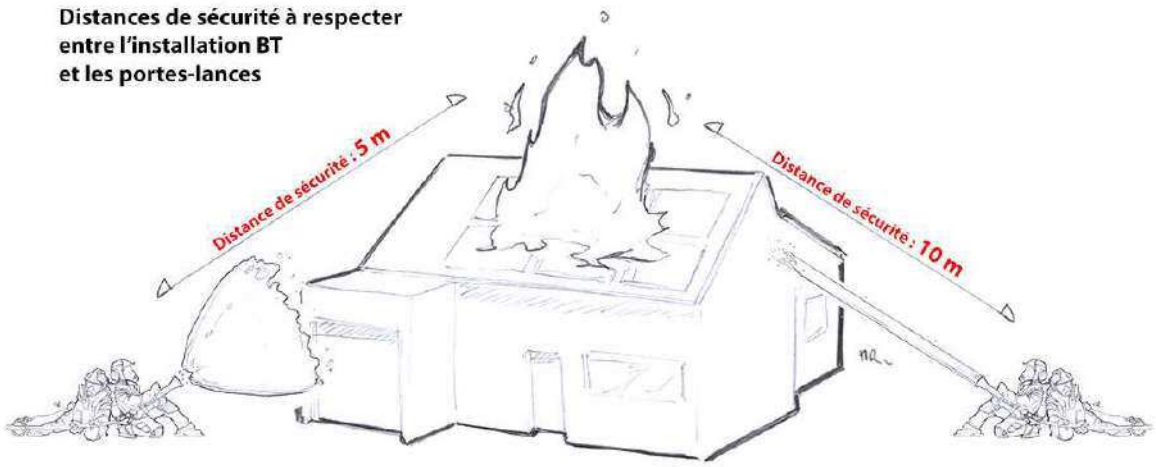
Sur les installations ENEDIS, il n'y a que le technicien sur place qui peut valider après consignation. Sur les installations privées, il est de la responsabilité du COS.

Une fois que la mise en sécurité est garantie, le feu est alors éteint avec les moyens ordinaires :

- un extincteur CO^2 (à privilégier) ;
- un extincteur à poudre qui peut générer des dégâts sur les installations électriques préservées ;
- une lance en jet diffusé d'attaque.

Les intervenants doivent prendre garde aux installations secourues qui peuvent se retrouver automatiquement réalimentées. Hormis dans le cas où la mise en sécurité est garantie par ENEDIS.

3.1. Les installation basse tension



© Matthieu Robert

Si le courant ne peut pas être coupé dès l'arrivée des secours, l'extinction doit se faire au moyen d'extincteurs appropriés (CO_2, poudre). S'il n'existe pas d'autre possibilité que la mise en œuvre d'une lance, seul le jet diffusé d'attaque est autorisé, en respectant une distance minimale entre la lance et l'installation de 5 mètres.

Le jet droit facilite la conductivité de l'électricité. Toutefois, lorsque l'utilisation du jet droit est nécessaire, la distance de sécurité est doublée.

La manœuvre est effectuée par un porte-lance aguerri, qui doit :

- manœuvrer dans un premier temps la lance dans une direction non dangereuse, puis diriger le jet avec précaution ;
- procéder par gestes lents et précis ;
- reculer à la moindre sensation de picotement ;
- faire attention au risque d'électrisation : éviter de marcher dans les eaux de ruissellement qui peuvent conduire le courant ;
- rester vigilant vis-à-vis des pièces métalliques avoisinantes (rambardes, canalisations, fils volants, etc.).

3.2. Les installation haute tension

Aussi, toute intervention sur une installation HTA-HTB impose obligatoirement :

- l'engagement d'une équipe RTE ou ENEDIS, en précisant qu'il s'agit d'une installation « haute tension »;
- l'interdiction de toucher un appareil ou un conducteur électrique avant la coupure du courant (un transformateur est en feu, toutes les installations situées en aval peuvent recevoir, par court-circuit, du courant haute tension).

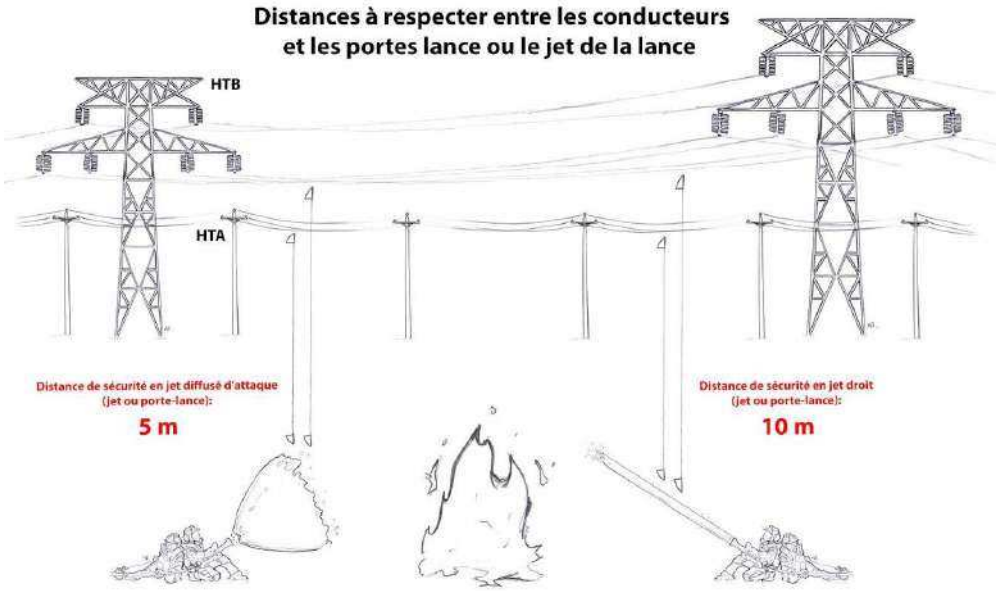
Aucune extinction ne doit être entreprise avant la confirmation de la mise hors tension de l'ensemble de l'installation par du personnel qualifié.

En attendant, l'action des secours se résume à la conduite de reconnaissances de tous les lieux qui pourraient être concernés par l'évènement[52], ainsi qu'à la protection des personnes et de l'environnement, au cas où l'incendie viendrait à se propager.

Lorsque des moyens hydrauliques doivent être mis en œuvre pour lutter contre des propagations, le COS doit s'assurer que les eaux d'extinction ne risquent pas d'entrer en contact avec des installations sous tension, ou former des arcs par phénomène d'amorçage.

A cet effet, il convient de respecter dans tous les cas une distance minimale de sécurité entre l'eau projetée et l'installation alimentée HT :

- HTA et HTB[53] : 5 mètres en jet diffusé d'attaque et 10 m en jet droit.



© Matthieu Robert

3.3. Les distances « limites de voisinage »

L'utilisation des moyens élévateurs aériens peut engendrer un risque d'électrisation ou d'électrocution, même sans contact en cas de forte tension (arc électrique, amorçage, tension de pas, ionisation du milieu (pluie, brouillard, fumées)).

Il est important de réaliser une reconnaissance attentive[54] de l'espace aérien afin de prendre en considération ces sources de dangers. Une recherche des câbles aériens[55] est indispensable avant de positionner l'échelle pour exclure tout risque d'électrisation ou d'électrocution.

Le contexte particulier d'une intervention (présence de fumées d'incendie, de brouillard, obscurité, …) peut masquer les fils électriques aériens.

[52] **Pas de pénétration dans l'ensemble des postes électriques sans présence d'un technicien RTE ou Enedis. Ne pas ouvrir la porte des postes.**

[53] **Pour des raisons de simplification, les distances de sécurité sont simplifiées par « pas de 5 mètres », légèrement supérieures aux préconisations normatives.**

[54] Ces éléments doivent se cultiver de manière permanente, par des reconnaissances en dehors des temps d'intervention. La prise en compte du secteur en dehors de phase d'urgence doit s'effectuer par la manipulation des MEA in situ et pas uniquement dans la cour du centre de secours.

[55] Il est parfois difficile de distinguer le type de fils concerné (électricité, téléphone ou autre). L'utilisateur prendra soin alors de repérer le type de poteau supportant les fils afin de déterminer le réseau.

Des dispositifs de détecteur de lignes aériennes haute tension peuvent être installés à demeure sur les moyens aériens. Ces détecteurs sont calibrés pour détecter les lignes aériennes haute tension 20 000V alternatif, à une distance de 10 mètres environ. Ce dispositif ne détecte pas les lignes aériennes à courant continu (tramway par exemple).

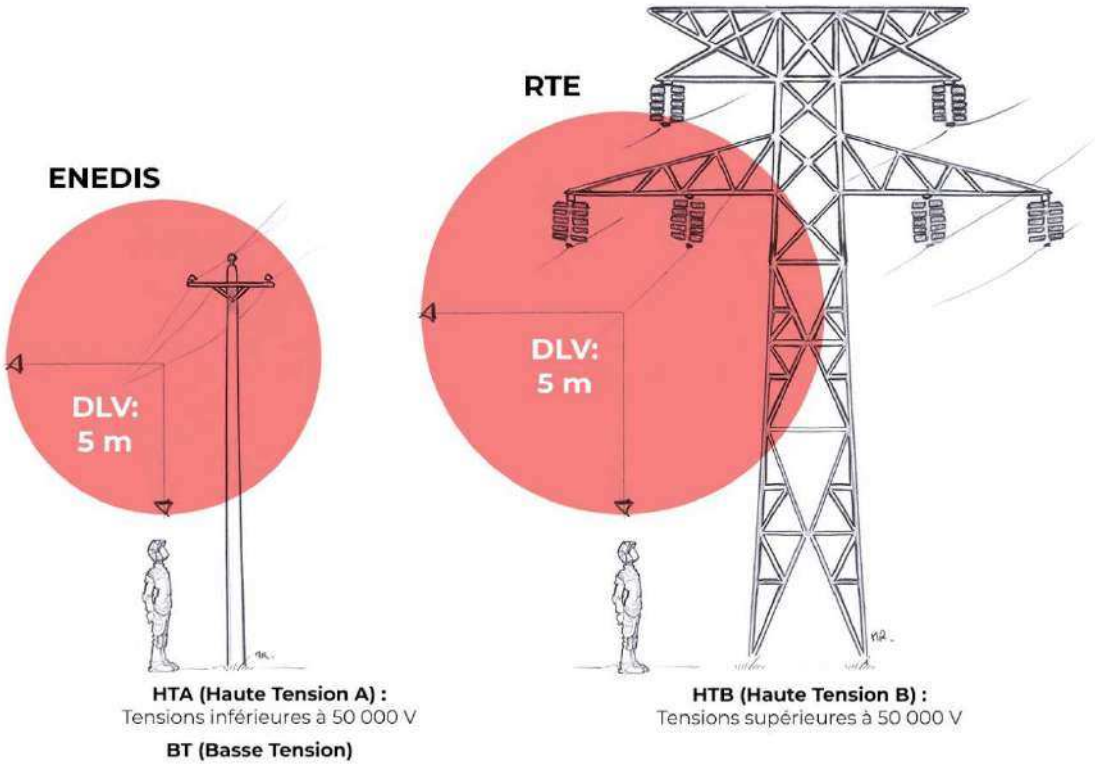
Toutefois, il ne remplace pas la vigilance des conducteurs et chefs d'agrès qui doivent respecter scrupuleusement les règles de précaution liées aux choix de la mise en station des moyens aériens, notamment au regard de l'espace suffisant de manœuvre dans les trois dimensions.

SITUATION	DISTANCE LIMITES DE VOISINAGE
Les lignes BT par rapport à un réseau nu ou un réseau isolé endommagé. Les lignes aériennes contact des tramways. Les caténaires SNCF. Les lignes HTA Les lignes HTB	5 mètres

Ces distances de sécurité devront être augmentées s'il pleut ou si une lance est établie à proximité.

Compte tenu qu'il est difficile d'évaluer avec précision une distance théorique par rapport à la réalité du terrain, les utilisateurs s'ils en ont la possibilité, opteront donc pour un positionnement d'échelle différent, privilégiant un espace très largement dégagé de toutes lignes haute tension.

Engagement minimum de personnel en plateforme, en fonction de la mission à accomplir.



© Matthieu Robert

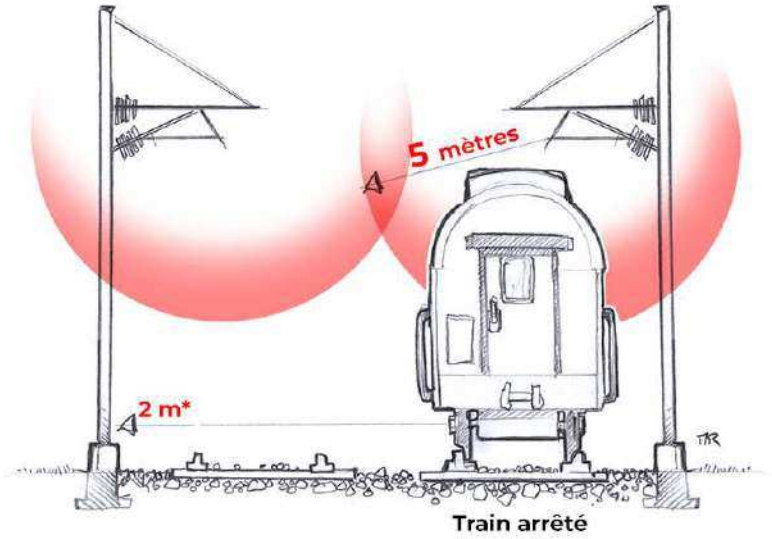
3.4. L'emploi des moyens aériens

Les avancées technologiques et législatives de ces dernières années ont permis l'arrivée des drones et des ballons captifs dans l'environnement opérationnel au profit du COS.

Le risque majeur identifié est la coupure des conducteurs par le drone.

Dans ce contexte, les spécificités de vol et les règles de sécurité de moyens aériens à proximité d'installations électriques sont reprises dans le GDO « engagement des aéronefs télépilotés de lutte d'appui et de secours »

4. Les règles sur les moyens de transport



© Matthieu Robert

Toute intervention sur le domaine ferroviaire implique d'avoir l'assurance de pouvoir agir en toute sécurité. La confirmation de la coupure du courant est donnée par le chef d'incident local (CIL) et à défaut par le centre opérationnel de gestion des circulations via le CODIS.

Dans tous les cas, il est impératif de :

- aucune mise en œuvre de moyen hydraulique ne doit être envisagée en-deçà d'une distance de sécurité minimale de 5 mètres de tout conducteur, avant la confirmation de la COUPURE D'URGENCE du courant de traction ;
- sur les voies électrifiées par lignes aériennes de contact (LAC), les secours ne doivent en aucun cas s'approcher à une distance inférieure ou égale à 3 mètres de la caténaire, tant qu'ils n'ont pas acquis la certitude que le courant est coupé ;
- ne jamais toucher aux caténaires tombées, aux câbles et aux pièces qui sont en contact avec ces derniers ;
- ne pas monter aux poteaux supportant les fils conducteurs et ne pas s'approcher de ceux sur lesquels apparaissent des phénomènes anormaux ;
- ne pas se livrer à des travaux sur les pièces sous tension ou trop près de celles-ci ;
- se méfier des courants de retour et des courants induits, ainsi que des amorçages d'arc qui peuvent survenir jusqu'à 40 cm d'un conducteur ;
- tenir compte du fait que les gaz chauds dégagés par un incendie peuvent être conducteurs de l'électricité ;
- s'assurer que les échelles et les outils employés ne peuvent être en contact avec les installations électriques ou placés trop près de ces dernières.

- s'assurer que la hauteur des véhicules, antenne comprise, permet la circulation des engins sous les lignes électriques.)

La mise hors tension d'une ligne alimentant le réseau de transport d'électricité ou le courant de traction (train, métro ou tramway) est réalisée à distance (au niveau du dispatching, des centrales sous-stations SNCF ou du PC Tram ou Métro). Cependant, les lignes n'étant pas mises à la terre, il y a **persistance d'un courant rémanent (ou courant résiduel).**



La coupure d'urgence du courant de traction ne garantit pas l'absence de circulation des trains. Elle n'entraîne pas l'arrêt immédiat des trains privés d'alimentation électrique et n'a aucun effet sur les circulations dites thermiques (diesels).

La mise hors tension à distance des **lignes alimentant le réseau de trolley bus** n'est pas possible. Les équipes de l'exploitant doivent se déplacer pour effectuer ces actions selon un délai d'intervention variable.

La consignation d'une ligne alimentant le courant de traction (train, tramway ou trolley bus) est réalisée par la mise en place de perches de mise à la terre par des techniciens du gestionnaire de réseau.



Pour le tramway, la hauteur de la ligne aérienne peut être inférieure à 6 mètres à certains endroits. Aussi, le franchissement des voies en véhicule doit s'effectuer sur des passages prévus à cet effet (intersections routières ou accès des secours).

CHAPITRE 4 - La construction de la réponse opérationnelle



© Bastien Guerche - DGSCGC

La connaissance mutuelle des procédures, des techniques et des grands principes d'action de chacun permet aux intervenants de mener à bien et avec efficacité leurs missions, tout en respectant les exigences de sécurité adaptées aux risques. Les primo-intervenants doivent intervenir avec le matériel en dotation dans leur engin en attendant, le cas échéant, l'arrivée des moyens spécifiques[56] ou d'équipe de spécialistes [57].

1. Les situations envisageables

Les situations envisageables peuvent être classées en trois cas d'espèces, à savoir la présence de :

- conducteur actif en contact avec le sol ou mis en contact avec le sol : accident d'un véhicule contre un pylône électrique, ligne électrique au sol, animaux morts à proximité d'un ouvrage électrique, mise à nu d'une ligne électrique enterrée, véhicule ayant percuté un coffret électrique, feu sur branchement électrique…) ;
- sinistre ou d'une victime au voisinage d'un conducteur nu sur pylône : feu sous ligne électrique, manœuvre MEA dans la fumée, parapentiste enchevêtré dans les lignes HT;
- sinistre ou d'une victime dans un poste de transformation : **feu de transformateur, victime électrisée.**

[56] Moyens qui nécessitent une formation à l'emploi mais dont la mise en œuvre n'est pas conditionnée à la présence de spécialiste.
[57] Définies par l'arrêté du 22 août 2019 modifié.

2. Les documents opérationnels

Les connaissances particulières liées aux opérations de secours en présence d'électricité conduisent les sapeurs-pompiers à rédiger ou participer à la rédaction, seuls ou en collaboration avec d'autres partenaires, des documents stratégiques ou de mise en œuvre opérationnelle et notamment :

- le schéma départemental d'analyse et de couverture des risques (SDACR) ;
- le règlement opérationnel du SIS ;
- les dispositions sur l'organisation de la réponse de sécurité civile (ORSEC) ;
- les ordres d'opération ;
- le contrat territorial de réponses aux risques et aux effets de menaces (CoTTRiM) ;
- le pacte capacitaire ;
- les guides de doctrine et de techniques opérationnelles ;
- les atlas spécifiques (topographie, consignes opérationnelles, données système d'information géographique) ;
- les plans des établissements répertoriés (ETARE) ;
- les plans d'urgence.

La spécificité d'un risque, les obligations légales ou encore les besoins propres à chaque organisation nécessitent des productions complémentaires qui peuvent prendre la forme de plans, de procédures opérationnelles, ou de conventions.

Les conventions ont pour objet d'approfondir les liens et les relations de travail entre les partenaires, de renforcer leur préparation et leur coordination dans l'éventualité d'un incident ou accident important ou grave liés aux activités de transport et de distribution d'électricité.

Au niveau national, la DGSCGC a engagé des partenariats avec des opérateurs et des prestataires privés dont les actions concourent à améliorer la réponse de sécurité civile.

Elles peuvent traiter :

- de la coopération en cas d'accident grave et de la coordination des dispositifs de gestion de crise ;
- des modalités techniques d'intervention et de coordination opérationnelle avec les services d'incendie et de secours ;
- des dispositifs d'alerte et d'information réciproque ;
- des actions de sensibilisation et de formation des sapeurs-pompiers et des partenaires ;
- de l'organisation d'exercices pratiques annuels ;
- de la présence d'agent RTE – ENEDIS au sein des postes de commandement ;
- du partage et de la prise en compte, par les parties concernées, du retour d'expérience.

Les conventions nationales s'appliquent sans préjudice des collaborations établies entre les services d'incendie et de secours et les représentants locaux des différentes entités.

Chaque SIS peut conventionner avec le ou les opérateurs en électricité présents sur le territoire départemental afin de définir ensemble les modalités d'intervention sur le réseau concerné, tout en définissant des partenariats de formation et en formalisant une démarche de retour d'expérience au travers notamment la réalisation de réunions régulières.

3. La réponse opérationnelle

Le SIS construit sa réponse opérationnelle en s'appuyant, entre autres, sur les documents de mise en œuvre opérationnelle. Elle résulte de l'adéquation entre les spécificités du territoire et les ressources humaines et matérielles du SIS.

Si l'opération de secours ne nécessite pas l'intervention d'équipe de spécialistes et/ou de moyens spécifiques, le COS peut, dans le doute, faire appel à un sachant[58] pour apprécier l'opportunité de la mise en place de mesures de sécurité particulières.

4. La prise d'appel et l'engagement des secours



© Bastien Guerche - DGSCGC

Une opération de secours débute dès la réception de l'appel ou des éléments transmis par un autre service au centre de traitement de l'alerte (CTA). Un questionnement adapté va permettre d'engager rapidement les secours et de conseiller le requérant.

Les éléments décrits ci-après complètent autant que de besoin les procédures propres à chaque SIS.

4.1. Les éléments à recueillir

4.1.1. La localisation de l'intervention

Phase capitale au bon déroulement de l'opération de secours, il convient tout d'abord de définir avec précision le lieu :

- le numéro de téléphone du requérant afin de pouvoir le rappeler si besoin voire de le localiser ;
- l'adresse de l'opération de secours (celle-ci peut être différente de celle où se trouve l'appelant) ;
- le site ou point remarquable (en particulier lorsqu'il s'agit d'une l'opération de secours en pleine nature) ;
- les coordonnées géographiques, topographiques, GPS ;
- tout autre renseignement utile.

[58] Désigne une personne (sapeur-pompier ou non) qui dispose de connaissances dans un domaine particulier.

Il se peut que le requérant ne sache pas où il se trouve et qu'aucun point remarquable ne permette de le situer. Dans ce cas et si le téléphone portable fonctionne, le CTA peut utiliser des outils pour obtenir les coordonnées GPS par l'AML[59], via la plateforme de localisation d'appels d'urgence (PFLAU), ou encore une application d'échange de SMS.

Si la victime est inconsciente ou que le téléphone du requérant est hors d'usage, la localisation peut être réalisée via les opérateurs et services partenaires.

La précision de la localisation permettra également d'anticiper sur la nécessité ou non d'engager directement des équipes de spécialistes (accès difficile, zone inondée, etc.).

4.1.2. La qualification du motif de l'appel

La qualification du motif de l'appel des secours va permettre d'apporter la meilleure réponse dans les délais les plus courts. Plusieurs points sont recherchés.

- La description de la problématique :
    - la nature de l'opération de secours ;
    - le contexte de l'accident (type de milieu, situation de la victime, difficultés d'accès) ;
    - le nombre de victimes et d'impliqués (en groupe ou séparés) ;
    - le type et la gravité des atteintes[60], (brûlure, traumatisme, conscience etc.) ;
    - la localisation des victimes, sont-elles à l'abri ou exposées au danger ;
    - etc.

- La qualité des renseignements, le requérant est-il :
    - un professionnel du milieu (encadrant un groupe, exploitant ; médecin, etc.) ;
    - une victime ;
    - un témoin ;
    - un tiers (famille, amis).

  Du niveau d'implication du requérant dans l'accident dépend sa qualité de jugement et d'objectivité face à un événement.

- L'identification de facteurs aggravants :

Par exemple, la date et l'heure conditionnent la réponse opérationnelle. En effet, une **opération de secours** de nuit en plein hiver ne nécessitera pas les mêmes moyens que la même en été en plein jour.

Les principaux facteurs à rechercher sont :

- le contexte opérationnel (risque de sur-accident…) ;
- le grand nombre de victimes et / ou d'impliqués ;
- le public sensible (âge [enfants, personnes âgées], handicap, etc.) ;
- les conditions météorologiques et astronomiques (jour-nuit, intempéries…) ;
- les difficultés de communication (transmissions radio/téléphone) ;
- l'hydrogéologie de la zone d'intervention ;
- l'accessibilité (délais de transit), difficulté, engagement ;
- (etc.).

[59] Advanced mobile localisation (localisation mobile avancée).
[60] La précision du renseignement permettra d'anticiper l'engagement d'une équipe médicale.

Dès l'apparition d'une notion de milieu particulier à la prise d'appel, un membre de l'équipe spécialisée peut fournir un appui lors du traitement de l'alerte.

Les CTA disposent de procédures en sus des prescriptions classiques de traitement des appels d'urgence appliquées quotidiennement. Elles répondent spécifiquement à certains risques et environnements locaux.

4.2. Les éléments spécifiques aux opérations en présence d'électricité

Dès lors que l'appel fait ressortir des éléments circonstanciels qui font suspecter une opération de secours concernant l'électricité ou susceptible d'impacter une installation électrique, l'opérateur du CTA doit réaliser :

- le recueil de renseignements communs à tous types d'installations électriques ;
- la nature de l'événement (incendie ou accident ? sur un ouvrage ou à proximité ? chute de câble(s) ou de poteaux(x)/pylône(s), dommages aux ouvrages) ;
- la présence de victime(s) ;
- l'incident concerne-t-il un réseau aérien, un compteur électrique, un transformateur ? est-il en intérieur ou en extérieur ? sur la voie publique sur un terrain privé ? présence de groupe électrogène ou autres moyens ? présence de panneaux photovoltaïques ?
- l'incident est-il consécutif à des travaux ? un accident de circulation ?
- le véhicule accidenté est-il en contact direct avec des fils électriques ?
- y a-t-il présence d'arcs électriques ? de fils tombés ? menace de chute d'un pylône ?
- si la présence d'un système de stockage électrochimique de l'énergie est avérée, il sera recherché à connaitre sa technologie, sa capacité et son état de charge ;
- en cas d'incendie ou de catastrophe naturelles (inondation, glissement de terrain…), la présence d'un ouvrage électrique de distribution ou de transport susceptible d'être impacté doit être identifié afin d'en prévenir le gestionnaire et éviter ainsi un risque de sur-accident ;
- l'application des procédures spécifique répondant aux risques si elles existent ;
- le recueil de renseignements spécifiques et donner les conseils adaptés face au risque électrique.

De même, la présence d'une installation PV sur la zone d'intervention est identifiée à la prise d'appel, elle doit être mentionnée sur l'information d'alerte.

4.3. Les conseils au requérant

Compte tenu de la diversité des situations, il est difficile pour l'opérateur du CTA d'appréhender la globalité du danger auquel est confronté le requérant. Dans ses conseils, l'opérateur doit s'appuyer sur son expérience et faire preuve de bon sens.

Dans les situations de détresse vitale, le contact doit rester permanent pour guider le requérant dans la réalisation des gestes indispensables. Le maintien de l'échange avec le requérant est nécessaire au moins jusqu'à l'arrivée des primo-intervenants.

SITUATION	CONSEILS AUX REQUÉRANTS
Incendie sur un ouvrage ou à proximité	- ne pas tenter d'éteindre en l'absence de danger réel et immédiat ; - ne pas projeter d'eau ; - couper le disjoncteur quand il est accessible.
Chute de câble(s) ou de poteau(x)/pylône(s), dommages aux ouvrages	- ne pas s'approcher du conducteur électrique (fil, élément susceptible d'être sous tension…) ; - empêcher quiconque de le faire dans un rayon de 10 mètres.
Accident de circulation sur un ouvrage ou à proximité	Si un élément sous tension est ou risque d'entrer en contact avec le véhicule accidenté : - ne pas toucher le véhicule, même en présence d'occupants ; qu'ils soient indemnes ou blessés ; - ne pas s'approcher du véhicule et empêcher quiconque de le faire dans un rayon de 10 mètres ; - empêcher les occupants de sortir du véhicule, qu'ils soient blessés ou non (hors incendie ou sauvetage).
	Si aucun élément sous tension ne risque d'entrer en contact avec le véhicule accidenté : - ne pas s'approcher de l'élément sous tension, empêcher quiconque de le faire (rayon de 10 m), - porter les premiers soins aux blessés si la distance de sécurité le permet.

4.4. L'engagement des secours

L'engagement des secours est propre à chaque SIS et doit être conforme au règlement opérationnel du SIS territorialement concerné.

La réponse opérationnelle d'un SIS peut prévoir, au départ des secours, le déclenchement d'équipes de spécialistes ou le recours à un partenaire public ou privé (milieux périlleux, risque technologique, exploitant, etc.).

Dans ce cas, un contact préalable à l'engagement des moyens, avec un cadre de la spécialité ou un partenaire peut permettre d'analyser la situation et de calibrer la réponse.

Si la spécialité n'est pas développée au sein du département, le recours au renfort zonal est à anticiper.

CHAPITRE 5 - La conduite des opérations



© Bastien Guerche - DGSCGC

La conduite des opérations se fonde sur des principes immuables :

- la protection des personnes et des animaux soumis directement ou indirectement aux effets d'un sinistre ;
- la préservation des biens ;
- la protection de l'environnement des effets d'un sinistre.

Les phases de la marche générale des opérations (MGO) décrites dans le GDO « exercice du commandement et conduite des opérations » peuvent s'appliquer partiellement ou dans leur totalité à des opérations de secours concernant les opérations en présence d'électricité :

- les reconnaissances ;
- les sauvetages et les mises en sécurité ;
- les actions spécifiques face au sinistre (zonage opérationnel, ventilation, établissements) ;
- les opérations de protection ;
- la remise en condition du personnel et le reconditionnement du matériel

Le COS peut donc s'appuyer sur cette chronologie en gardant toutefois à l'esprit que, compte tenu de la réalité du terrain, la chronologie ne puisse pas être respectée.

Tout élément nouveau important doit amener le COS à reconsidérer son idée de manœuvre. L'aggravation de la situation soudaine ou le sur-accident sont de nature à déstabiliser profondément les intervenants et l'ensemble du personnel des services concernés[61].

1. Le zonage opérationnel

1.1. Principes généraux du zonage opérationnel

Afin de protéger les populations et les intervenants d'un danger, il est nécessaire de sécuriser le site de chaque opération en mettant en place un zonage plus ou moins élaboré et étendu en fonction des risques en présence, du lieu et de la durée prévisible de l'opération.

Les limites extérieures du zonage forment le périmètre de sécurité. S'il ne sera jamais possible de définir avec exactitude les limites de ce périmètre, ni d'en garantir la totale efficacité, il appartient néanmoins au COS de le délimiter systématiquement en s'efforçant d'adapter ses contours le mieux possible à la zone de danger.

Au final, le zonage opérationnel devra toujours respecter le principe des trois zones :

- une zone d'exclusion dite rouge ;
- une zone contrôlée dite orange ;
- une zone de soutien dite verte.



Exemple à l'échelle, d'un zonage opérationnel réflexe.
La zone d'exclusion a un rayon de 50m et la zone contrôlée un rayon de 100m
© Christophe Perdrisot – DGSCGC

[61] Cf. GDO Exercice du commandement et conduite des opérations

Les limites extérieures de la zone de soutien constituent le périmètre de sécurité. La zone accessible au public se situe au-delà de ce périmètre, elle n'est pas matérialisée.

Dans un premier temps, compte tenu de la cinétique de l'opération et du personnel présent, le zonage opérationnel se limitera à un périmètre de sécurité dit « a priori » limitant l'accès à la zone de danger principal tout en mettant en sécurité :

- les intervenants ;
- les victimes (décédés, blessés, impliqués)
- les tiers.

Les zones qui ne nécessitent pas le port d'EPI sont placées sous le contrôle des forces de l'ordre. Le zonage opérationnel peut nécessiter la mise en place d'un ou plusieurs points d'accès et/ou de contrôle servant notamment :

- à la gestion des entrées et sorties des intervenants ;
- au contrôle des EPI ;
- à la gestion des matériels souillés ;
- au contrôle des actions menées ;
- etc.

L'accès aux différentes zones doit tenir compte des limites d'emploi du matériel à disposition des primo-intervenants.



En fonction des éléments recueillis lors de sa reconnaissance (effets dominos, configuration de la zone d'opération, …) et de sa capacité à tenir le périmètre, le COS fixera les contours effectifs de ce dernier en veillant à sa matérialisation et à son contrôle.

La définition d'au moins un axe d'accès et/ou logistique doit être une des priorités du COS.

1.2. Le zonage opérationnel en présence d'électricité

La consignation électrique par les techniciens réseaux, est indispensable pour la mise en sécurité de l'installation. Elle nécessite souvent des délais importants de réalisation (supérieurs à 1 heure pour RTE). Dans certains cas exceptionnels, l'intervention des sapeurs-pompiers est possible dès la mise hors tension.

Afin de favoriser l'intervention, en attente de la mise en sécurité électrique, un zonage est mis en place :

- à l'arrivée des moyens du SIS un périmètre de sécurité doit être établi (si pas d'action nécessaire, ce périmètre sera maintenu jusqu'à la consignation électrique par le technicien réseau) ;
- suivant la reconnaissance effectuée et dans le cas où une action de secours (secours à personne, incendie, pollution, fumées…) est à réaliser au voisinage de l'ouvrage électrique sinistré, un zonage opérationnel doit être établi.

Lors d'un incident sur un réseau électrique, les procédures partagées selon les conventions SIS/opérateurs[62], préconisent les périmètres de sécurité par défaut à mettre en œuvre par le COS :

ZONE	TYPE D'INSTALLATION	DISTANCE
EXCLUSION	ENEDIS Basse Tension	10 mètres
	ENEDIS Haute Tension (A)	10 mètres
	RTE Haute Tension (B)	10 mètres
	Transformateurs :	Emprise de l'installation avec un périmètre en cas de dégagement de fumées toxique
CONTROLÉE	ENEDIS BT	Bande située entre la limite de la zone d'exclusion et 20 mètres
	RTE HTB HTA	Bande située entre la limite de la zone d'exclusion et 50 mètres
	Transfo HTB/HTB ou HTB/HTA	Zone extérieure à l'ouvrage comprise entre la clôture et 50 m
	Transfo HTA/BT	Zone comprise entre l'emprise du local et 20 mètres

Une balance des enjeux devra être effectuée par le COS, le personnel ne pourra avoir d'action à l'intérieur de la zone d'exclusion du périmètre de 50 mètres, qu'en cas d'impérieuse et absolue nécessité.

L'analyse des risques en présence ainsi que les éléments complémentaires fournis par l'exploitant (temps de consignation, etc.) vont permettre au COS de définir un périmètre de sécurité réfléchi et adapté aux évolutions de la situation.

La définition de ce périmètre réfléchi fait l'objet d'une étude en amont entre l'exploitant et le COS.

2. Les principes opérationnels

Les principes opérationnels reposent sur l'élaboration d'une idée de manœuvre en anticipant les différentes phases évolutives de l'opération. Celle-ci passe obligatoirement par une analyse de la situation basée sur un recueil de renseignement consolidé.

Lors de ces opérations, les reconnaissances représentent toujours une phase très importante et sensible dans la mesure où le risque et ses conséquences ne sont pas encore clairement définis.

Aussi, l'action des secours doit viser à :

- prévenir le risque d'électrisation, d'incendie ou d'explosion ;
- limiter les dégâts et les dommages ;
- supprimer ou réduire le risque.

[62] Ces périmètres de sécurité peuvent être repris dans les conventions signées entre le SIS et l'ELD exploitant le réseau concerné.

Les principes opérationnels décrits ci-après peuvent constituer un fil conducteur pour les intervenants. Ils seront adaptés à la situation et ne se substituent pas à la doctrine opérationnelle en vigueur dans chaque SIS.

2.1. Analyser

L'analyse de la situation va permettre d'estimer, de localiser et de délimiter le risque. Le COS doit rapidement avoir une vision la plus globale possible de l'intervention. Pour cela, il doit chercher à prendre contact avec le requérant (particulier, industriel, responsable, etc.) et/ou l'opérateur électrique, s'il est présent.

La qualité du renseignement dépend de la qualité de la source. Il appartient à chaque partie de signaler les risques éventuels qui n'ont pas été pris en compte dans l'analyse. Dans la mesure du possible, le COS va chercher à récupérer les informations suivantes :

- le réseau, l'installation ou le type de stockage concernés ;
- le type d'incident ;
- la localisation de l'événement ;
- les différents organes de coupure pouvant être manœuvrés par les sapeurs-pompiers.

Le COS va ensuite :

- déceler tout ce qui peut être à l'origine d'une électrisation ;
- étudier les mesures à prendre pour supprimer ou réduire le risque d'électrisation ;
- évaluer l'étendue des dommages et des dégâts possibles en cas de propagation du sinistre (humains et matériels) ;

L'ensemble des renseignements recueillis vont permettre au COS :

- d'établir son périmètre de sécurité « a priori ». Le zonage opérationnel sera ensuite affiné en relation avec l'opérateur électrique ;
- de demander l'intervention des moyens de renfort (SIS, services publics, etc.) ;
- d'anticiper une évolution de la situation, en établissant les moyens hydrauliques adaptés dans le cadre d'une opération de lutte contre l'incendie par exemple ou de tous les mouvements possibles des pièces conductrices nues sous tension.

2.2. Stabiliser

L'effet recherché consiste à figer le risque dans l'état et les dimensions qu'il avait à l'arrivée des secours. Pour cela, il suffit généralement d'assurer la mise hors tension en agissant sur un organe de coupure quand la manœuvre est autorisée aux sapeurs-pompiers (disjoncteurs ou dispositifs pompiers) ou d'en assurer la mission auprès de l'opérateur électrique.

Il appartient au COS de ne pas modifier la situation par une action directe ou indirecte sur des organes de coupure Les sapeurs-pompiers doivent garder à l'esprit que toute opération comporte toujours un risque car une mise hors tension n'est pas obligatoirement effective. De ce fait, ils devront toujours avoir la confirmation par l'opérateur électrique.

2.3. Maîtriser

L'effet recherché consiste à supprimer le risque afin de revenir à la situation antérieure, pour mener des actions sur le sinistre comme :

- le sauvetage de personne ;
- l'extinction d'un incendie ;
- etc.

3. Les opérations sur une installation électrique

Chaque partie (SIS ou d'exploitant de ligne) assume la responsabilité des actions entreprises dans son domaine de compétence.

Leur exécution doit être partagé en temps réel, par tous moyens, afin que chaque dans son domaine soit détenteur de l'ensemble des informations pour analyser au mieux l'intervention en cours (mise hors tension, consignation).

De manière générale, les manœuvres sur le réseau et les installations électriques sont de la responsabilité des agents dûment habilités.



Les sapeurs-pompiers sont autorisés à réaliser des manœuvres de mise hors tension UNIQUEMENT sur une alimentation électrique BT sur des coffrets spécifiques et des appareils tels que les disjoncteurs.

En raison des modifications permanentes et nécessaires des réseaux de distribution publics mais également privés (nouveaux raccordement, modification de puissance, renouvellement, encouragement aux énergies renouvelables...), le COS doit :

- identifier l'ouvrage afin notamment déterminer la tension et demander au plus vite le gestionnaire concerné (RTE, ENEDIS-EDF-ELD, SNCF, etc.) en précisant sa localisation, son identification et tous autres renseignements nécessaires à l'intervention. En cas de doute, ne pas hésiter à demander plusieurs gestionnaires ;
- fixer rapidement le zonage afin d'éviter le risque d'électrisation voire d'électrocution ;
- veiller à ce que les intervenants soient accompagnés par un technicien habilité ayant pris les mesures de sécurité adaptées (consignation électrique, mise hors tension, coupure d'urgence) ;
- faire réaliser l'extinction, chaque fois que cela est possible, qu'après la coupure du courant en respectant les distances de sécurité ;
- s'assurer qu'à chaque coupure du courant, une reconnaissance étendue est menée dans les bâtiments concernés (victimes) et que la mise en place de mesures ont été réalisée (ascenseurs, personnes à haut risque vital, etc) ;
- prendre garde aux installations secourues qui peuvent se retrouver automatiquement réalimentées.

Les intervenants procédant à une mise en sécurité de l'installation, sans qu'il y ait besoin d'une action supplémentaire immédiate, doivent prévenir le gestionnaire pour effectuer une vérification complémentaire.



Pour la mise à la terre des groupes électrogènes des SIS ou la réalisation de points d'ancrage dans le sol (exemple : SMPM, USAR, etc.), le risque d'endommagement d'un conducteur électrique souterrain est présent dès lors que la profondeur est supérieure à 10 cm.

3.1. Le secours d'urgence à personnes sur une installation électrique

Lors d'une opération de secours d'urgence à personne apparait nécessaire, alors que l'installation électrique n'est pas consignée les principes suivants sont à respecter :

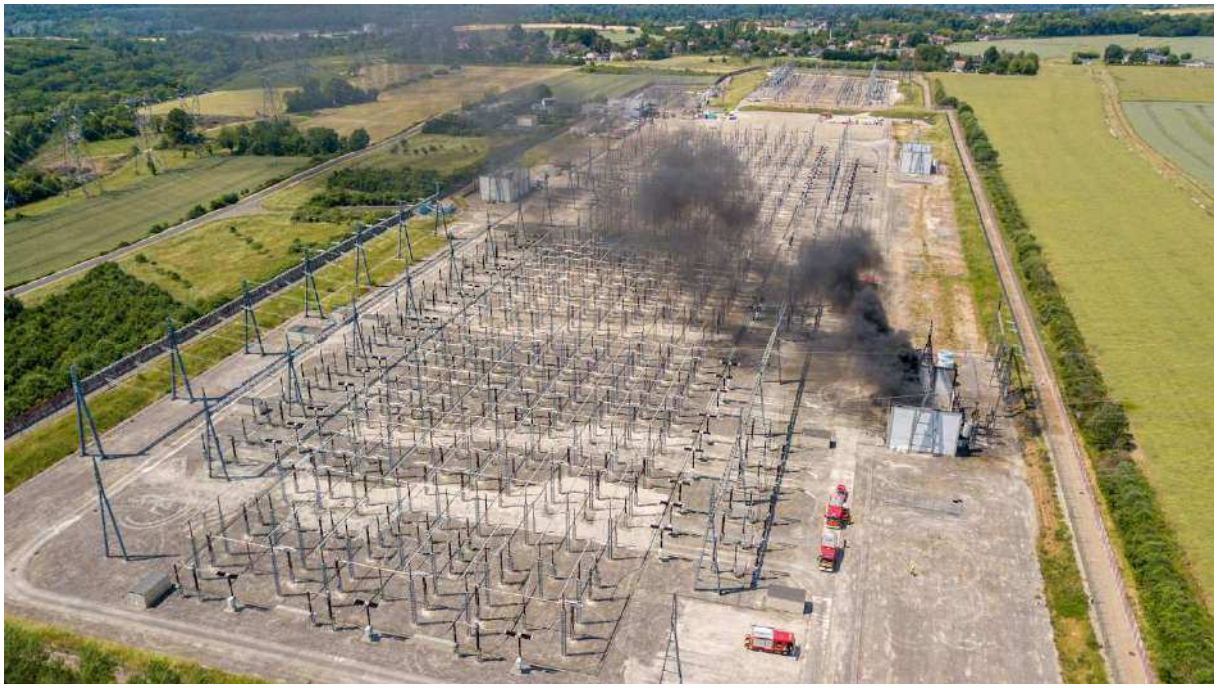
ZONE	TENSION	ACTIONS RÉALISABLES
Exclusion	BT	Action de sauvetage possible avec le lot de protection électrique
	HTA HTB	Action de sauvetage impossible sans concertation préalable avec le technicien réseau.
Contrôlée	BT	Action de sauvetage possible avec le lot de protection électrique
	HTA HTB	Action de sauvetage possible, après la mise hors tension par le technicien réseau.
Soutien		Action de sauvetage possible.



Le sapeur-pompier doit toujours progresser à petit pas (protection tension de pas) et assurer un dégagement d'urgence vers la zone de soutien dans les mêmes conditions de déplacement.

Les personnes électrisées ou électrocutés	Les accidents de véhicules contre une installation électrique
<u>Poste ou élément Haute Tension :</u> Ne jamais pénétrer dans l'enceinte sans y avoir été autorisé par l'agent. Ne pas manipuler la porte d'accès au local ni toucher de câble. <u>Poste ou élément Basse Tension :</u> Ne pas pénétrer dans un local TGBT sauf si présence de matériel d'électro-secours.	Périmètre d'exclusion supérieur, au moins égal à la hauteur de l'ouvrage (poteau) doit être mis en place de part et d'autre de celui-ci. Il ne faut jamais toucher un véhicule qui est en contact avec une installation électrique. Si des victimes conscientes sont à l'intérieur, il importe de les rassurer et de leur demander de ne pas sortir du véhicule avant la mise en sécurité de la zone d'intervention.
Interventions sur les lignes aériennes	**Une personne bloquée sur un pylône ou un poteau électrique**
Assurer une prise de contact à la voix avec la victime (si consciente) et de prodiguer les premiers conseils. Anticiper le moyen d'évacuation de la victime. S'assurer de l'absence de couplage capacitif/d'induction magnétique sur le réseau RTE. Une fois le technicien habilité sur les lieux, et la ligne électrique mise hors tension, il est possible de procéder au sauvetage (par MEA, SMPM).	Assurer une prise de contact à la voix avec la victime (si consciente) et de prodiguer les premiers conseils. Aucun matériel ou sapeur-pompier (échelle à mains ou échelle aérienne) ne doit s'approcher à moins de 5 mètres des câbles électriques (risque d'amorçage).

3.2. Les opérations de lutte contre l'incendie[63]



© Léonard Ortuso – SDIS 77

3.2.1. Le feu ou l'explosion dans un poste électrique

Dans tous les cas, que ce soit dans un poste électrique aérien ou un poste en bâtiment, il est strictement interdit de pénétrer dans l'enceinte du poste sans l'accord d'un technicien compétent de ENEDIS ou RTE (consignation électrique).

L'action des secours consistera dans un premier temps à enrayer la propagation aux tiers, en respectant le périmètre de sécurité et sans diriger de lances vers les installations électriques.

Après la consignation de l'installation et l'autorisation du technicien habilité, l'extinction de l'incendie peut être réalisée. Le choix de l'agent extincteur le plus adapté se fera en concertation avec le technicien habilité.

Certains postes sont équipés de transformateurs pouvant contenir de très grandes quantités d'huiles. Afin de limiter les impacts environnementaux et notamment les déversements d'huile dans le milieu naturel, il peut être nécessaire de mettre en œuvre des dispositions spécifiques pour limiter la pollution (obturation de la fosse déportée, déploiement de boudins absorbants, etc.). Il est à noter qu'en cas d'utilisation de volume d'eau très important, les fosses déportées normalement prévue pour retenir les huiles en cas d'incendie peuvent déborder.

Certains postes peuvent être équipés de transformateurs pouvant contenir de grandes quantités d'huiles diélectrique - polychlorobiphényle (PCB) ou dit « pyralène ».

Il est impératif de se faire préciser par Enedis ou RTE ou exploitant de la présence ou non de PCB. Dans l'affirmative, il convient :

- de faire respecter strictement le zonage opérationnel et le port de l'ARI ;
- de surveiller les zones de trajectoires des fumées ;
- d'élargir la zone d'exclusion à 100 mètres ;

[63] Les fumées dégagées lors de la combustion d'un câble électrique peuvent « tromper » les détecteurs gaz et font réagir les cellules. Le COS et/ou le spécialiste doivent être vigilants sur ce point.

- attaquer au CO^2 ou à la poudre. En cas d'incendie de grande ampleur, le recours à la mousse est possible afin d'éviter l'emploi de l'eau seule pour limiter la contamination du milieu.

En cas de contamination des personnels (liquide ou fumées), les actions suivantes seront menées :

- assurer un suivi strict des entrées/sorties de la zone polluée ;
- respecter un déshabillage rigoureux des personnels ;
- faire nettoyer le matériel et les tenues contaminées par des entreprises spécialisées ;
- assurer le suivi médical pour toute personne exposée au PCB (contact avec la peau ou inhalation des gaz).

Une équipe spécialisée « risques technologiques » appuiera utilement le COS dans la mise en œuvre de ces dispositions.

3.2.2. Le feu ou l'explosion sous ou à proximité d'une ligne électrique

Un feu sous une ligne électrique peut avoir des conséquences importantes sur l'alimentation en électricité de certaines zones géographiques. Par conséquent, la communication entre le CTA et l'opérateur électrique doit donc se faire quasiment en temps réel notamment lors d'incendie situé ou susceptible de se situer par leur progression à proximité des lignes électriques haute tension.

Cette communication renforcée doit permettre à l'opérateur électrique d'anticiper la réalisation des opérations de mises hors-tension adaptées et d'identifier des solutions stratégiques pour limiter les impacts sur l'alimentation du réseau électrique.

Aucun sapeur-pompier ou matériel (échelle à mains ou échelle aérienne) ne doit s'approcher à moins de 10 mètres des câbles électriques (risque d'amorçage).

3.2.3. Le feu de câbles souterrains ou sur des structures portantes

Dans tous les cas, il est strictement interdit de pénétrer dans l'enceinte sans la confirmation de la consignation électrique. Les câbles anciens contiennent de l'huile sous pression pour les isoler. Si l'enveloppe est percée, il y a un risque de projection puis d'incendie.

Il appartient au COS lors de sa reconnaissance de prendre en compte la présence d'autres canalisations dans les mêmes galeries souterraines (eau, gaz, etc.).

3.3. Le court-circuit

Les effets d'un court-circuit sont :

- une chaleur intense ;
- une rayonnement ultraviolet et infrarouge très important ;
- une projection de métal en fusion.

3.3.1. Le court-circuit sous réseau enterré ou en galerie

Un court-circuit peut intervenir lors d'un défaut électrique interne voire lors d'un épisode pluvieux avec une infiltration d'eau provoquant :

- une émanation de fumée blanche ;
- un bruit de claquement ;
- une température élevée (trottoir sec autour du tampon si sol mouillé) ;

- un risque d'explosion avec projection du tampon suite à la surpression.



Après avoir effectué de larges reconnaissances et identifier un risque d'origine électrique, réaliser un périmètre de sécurité et demande une mise hors tension à l'exploitant. Les tampons ne doivent pas être ouverts ou manipulés sans la présence et l'accord d'un technicien.

Après confirmation de la suppression du risque électrique, l'extinction est possible au moyen d'un extincteur CO^2.

3.3.2. Le court-circuit sous trottoir avec présence d'un tampon « gaz réseau »

Les coffrets gaz réseau et éclairage public sont implantés dans la même fouille et communiquent. Un tampon « gaz réseau » peut être implanté à moins d'un mètre d'un coffret électrique touché par le court-circuit. Dans ce cas, un court-circuit peut provoquer une élévation importante de la température et peut provoquer la combustion des gaines de câble et propager le feu vers la conduite de gaz.[64]

3.4. Les opérations diverses

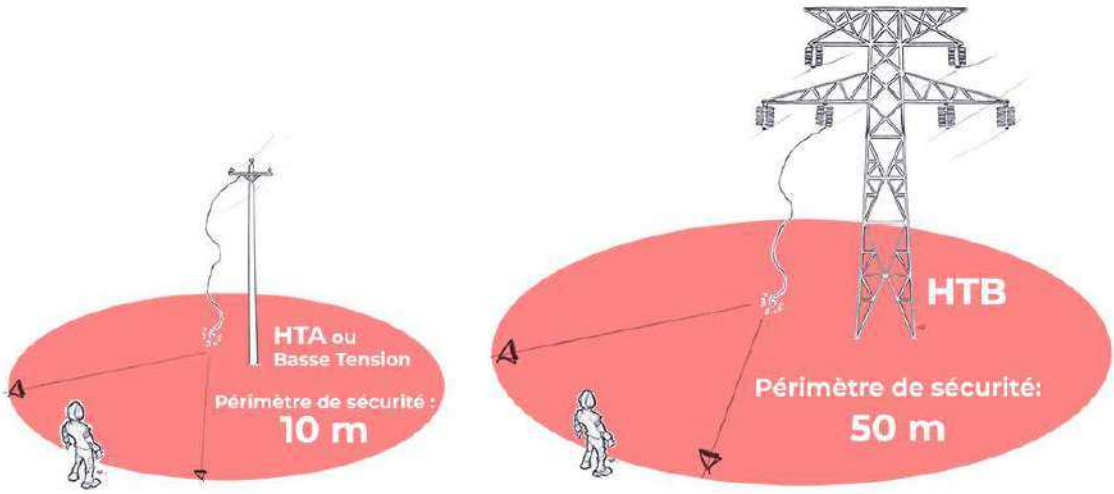
Arrivé sur les lieux, il est primordial de confirmer auprès du CTA de référence l'identité du poste et le gestionnaire de réseau concerné.

En attendant l'arrivée du technicien habilité d'ENEDIS ou de RTE, qui sera chargé de sécuriser le site (consignation électrique), il est nécessaire de fixer un périmètre de sécurité autour du site.

3.4.1. Les câbles tombés au sol

Ne pas s'approcher à moins de 10 mètres du câble électrique (HTA ou BT) et 50 mètres (HTB).

Ne pas tenter de déplacer le câble avant l'accord formel d'un technicien habilité.



[64] Redouter la rupture de la conduite de gaz en polyéthylène (température de perte de résistance mécanique du polyéthylène : 80° C, température de fusion : 130° C).

© Matthieu Robert

3.4.2. Les câbles électriques souterrains

Aucune personne, y compris les intervenants ne doivent pénétrer dans la fosse sans l'autorisation du technicien habilité.

3.4.3. Le déversement d'huile provenant d'un transformateur

Le déversement d'huile diélectrique (nécessaires à l'isolation et au refroidissement des transformateurs) peut être source de pollution accidentelle. On parle de « pollution froide ». L'intervention d'une équipe spécialisée « risque technologique » sera nécessaire pour lutter contre la pollution et identifier les cibles impactées. Le zonage opérationnel devra ainsi prendre en compte impérativement le risque électrique et le risque chimique.

4. Les interventions relatives aux installations photovoltaïques

4.1. L'évaluation du risque sur la zone d'intervention

Si l'information d'alerte ne fait pas état de la présence d'une installation photovoltaïque, les reconnaissances conduites doivent être l'occasion de rechercher la présence des organes ou de signalétique PV.

4.1.1. À l'extérieur du bâtiment

Si la toiture n'est pas visible du sol, les reconnaissances aériennes doivent être l'occasion de vérifier la présence de capteurs PV sur la couverture.

4.1.2. À l'intérieur du bâtiment

Il convient de rechercher la présence de signalétique a.c., des deux AGCP et de l'onduleur. A l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment à limite de concession ENEDIS, la signalétique ENEDIS ou du GRD est généralement présente sur toute installation raccordée au réseau.



La découverte d'un des éléments précités signifie qu'une installation PV est présente sur la zone d'intervention. Celle-ci doit être considérée sous tension jusqu'à la réalisation des opérations de mise en sécurité.

4.2. Les opérations de lutte contre l'incendie

Lorsque la zone d'intervention comporte une installation PV – sinistrée ou sinistrable –, si des actions doivent être menées sans que la mise en sécurité de l'installation ait été réalisée, les dispositions mentionnées ci-après doivent être respectées :

- dans tous les cas, la mise en sécurité de l'installation doit être recherchée en parallèle

de l'intervention sur le sinistre ;
- annoncer la présence du risque électrique à tous les acteurs impliqués dans l'opération de secours ;
- tout contact d'un MEA ou d'une échelle à mains avec les panneaux PV peut conduire à l'électrisation des sapeurs-pompiers en contact.

4.2.1. Un feu en présence d'une installation de PV

En attendant l'arrivée du technicien habilité d'ENEDIS, de RTE ou de l'exploitant, qui sera chargé de sécuriser le site (consignation électrique), il est nécessaire de :

- fixer un périmètre de sécurité autour du site ;
- ne pas utiliser de lance en jet direct, mais en jet diffusé d'attaque à plus de 5 m ;
- utiliser de la poudre ou du CO^2 pour des feux naissants ;
- prendre garde aux eaux de ruissellement en contact direct avec l'installation PV ;



Un sapeur-pompier en contact simultanément avec les eaux de ruissellement sur l'installation PV en défaut et un élément conducteur (échelle) risque un choc électrique.

La nuit, il est nécessaire de respecter une distance de sécurité de 10 m entre les projecteurs des moyens aériens et les modules de PV. Un éclairage artificiel direct puissant peut générer une tension dangereuse dans l'installation PV.

Si l'état de la toiture le permet, une bache de protection peut-être utilisée pour altérer la production d'électricité et empêcher une éventuelle reprise de feu à partir d'arcs éléctriques. La bache ne protège pas contre le risque électrique.

Le port des EPI et de l'ARI sont indispensables lors de l'ensemble des phases de la MGO. La présence de poussière de verre en suspension ou le risque de contact avec des éléments métalliques en fusion de la structure porteuse des PV sont permanents.

Aussi, il faut privilegier l'intervention d'un installateur ou d'un éléctricien spécialisée PV.



Le démontage des modules ou des chaines PV en l'absence de technicien est proscrit.

4.2.2. Les centrales solaires au sol

La propagation du feu sera très dépendante de la végétation présente (quantité, taux humidité). Ces infrastructures clôturées disposent d'un réseau de circulation adapté aux interventions qui permettent une circulation toute l'année, et parfois d'ouvrages pare-feu.

En cas de feu sur une installation de ce type, aucune action autre que la protection ne doit être entreprise à l'intérieur du périmètre clôturé avant une reconnaissance approfondie des caractéristiques du site et l'identification des points stratégiques.

Les postes de transformations ou, pour les projets de très grande puissance, le poste source haute tension dédié sont les éléments à défendre en priorité.

En attendant l'arrivée des techniciens habilités d'ENEDIS, RTE ou exploitant, qui seront chargés de sécuriser le site, il est nécessaire de :

- fixer un périmètre de sécurité autour du site adapté au type de sol sous les panneaux (chute de matière en fusion à l'aplomb des structures) ;
- s'assurer que les obligations légales de débroussaillement ont été respectées afin de limiter la propagation du feu vers l'extérieur du site et le cas échéants de mettre en demeure le gestionnaire de l'équipement de les réaliser immédiatement surtout sur les infrastructures de grandes surfaces ;
- localiser les points d'eau disponibles et les équipements de sécurité avec l'exploitant (consignation électrique).

Certaines installations peuvent être équipés d'un boitier de coupure d'urgence à destination des secours qui permet une mise en court-circuit du chemin de câble entre les panneaux et l'onduleur. Certaines installations comme les fermes agrivoltaïques peuvent également disposer d'un système d'irrigation qui peut utilement être déclenché. Une fois la mise en sécurité assurée, les interventions dans le site peuvent débuter.

5. Les interventions relatives aux éoliennes

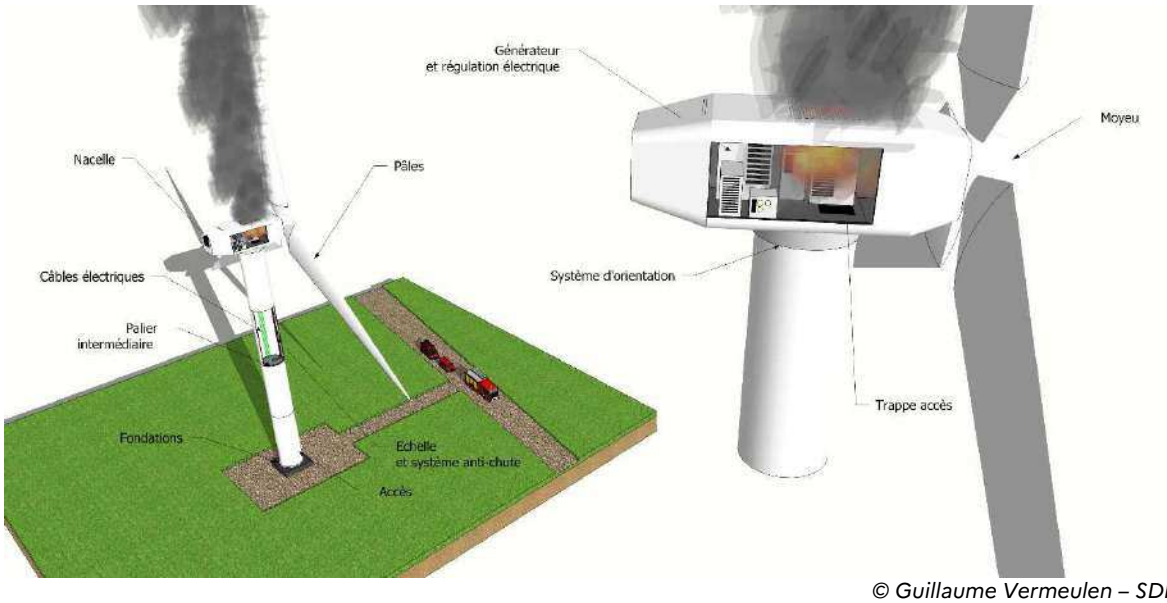
5.1. Les opérations de lutte contre l'incendie

Les secours peuvent être confrontés à différents types d'incendie.

5.1.1. Les feux en hauteur

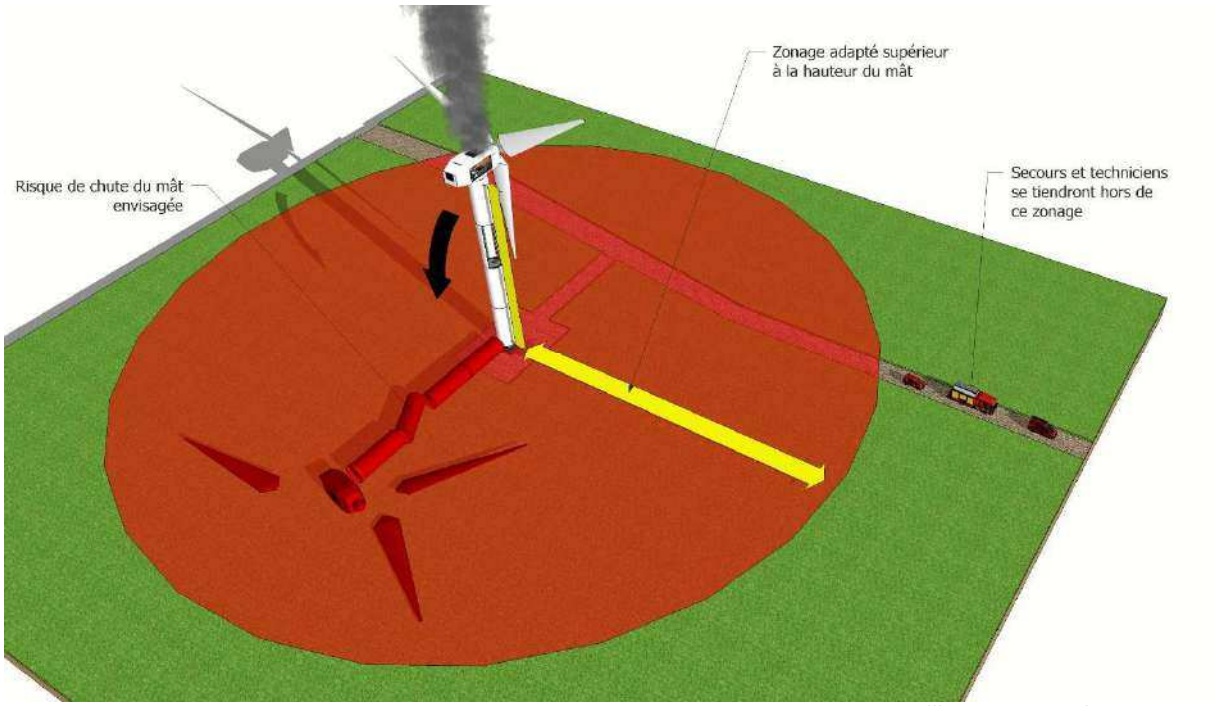
Le temps nécessaire pour l'ascension du mat, peut entrainer un développement libre de l'incendie. Par conséquent, toute action de lutte en hauteur ou dans le mat est proscrite.Les actions d'extinction seront limitées aux propagations du sinistre vers d'autres cibles.

L'accès à l'éolienne restera strictement limité aux sauvetages de vie humaine. Le recours à du sauvetage héliporté est une option plus sécurisée pour des sauvetages sur une nacelle.



© Guillaume Vermeulen – SDIS 59

Le COS veillera à réaliser un zonage adapté supérieur à la hauteur du mat (1,2 x H)[65], prenant en compte les chutes de débris enflammés et en anticipant une éventuelle ruine du mat. Ce zonage devra rester actif même après le départ des secours.



© Guillaume Vermeulen – SDIS 59

5.1.2. Les feux de transformateur, en nacelle, en poste de livraison ou en pied de mat de l'éolienne

L'extinction doit être assurée avec des moyens adaptés en veillant, au préalable, à faire couper les fluides électriques. A ce titre, le centre d'exploitation de l'éolienne sera le principal interlocuteur du COS.

5.1.3. Les éoliennes exposées à un incendie

L'environnement autour de l'éolienne est généralement constitué soit d'espaces naturels dédiés à l'agriculture, soit des espaces boisés.

Un parc peut être directement exposé à un incendie. Il doit être pris en compte en tant que point sensible avec les techniques opérationnelles de lutte contre les feux de forêts et d'espaces naturels. La mise en sécurité électrique pourra être demandé en cas de besoin.

© Frédéric Bonnisseau – SDIS 36



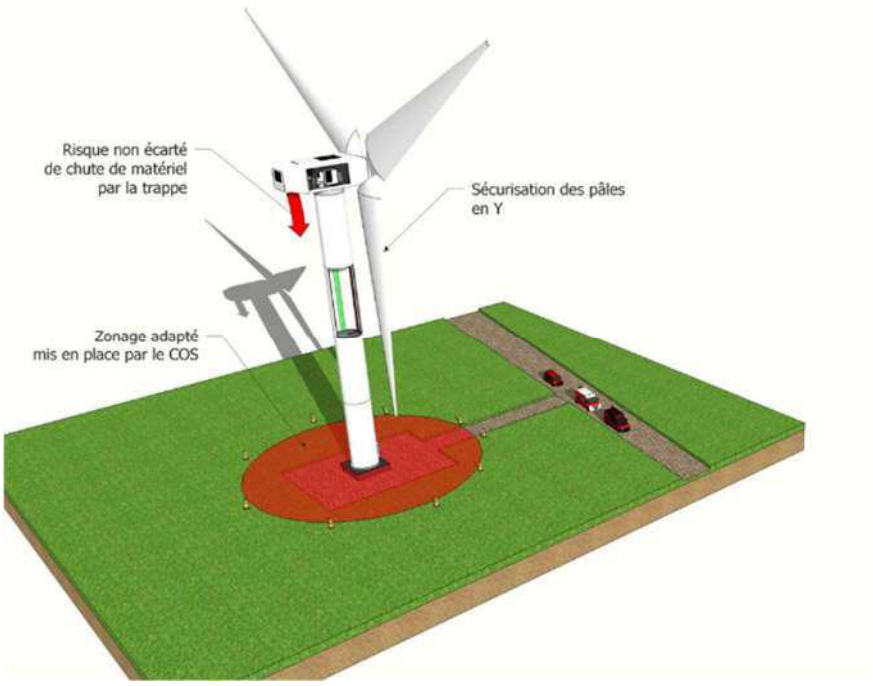
[65] En cas de vent, notamment vent fort, une distance supérieure sera préférable (à titre indicatif : minimum 6xH)

5.2. Les opérations de secours à personnes

La sécurité des personnels engagés sera prise en compte dans les choix tactiques du COS (SMPM[66]). L'éolienne sera mise en sécurité en relation avec sa société d'exploitation et devra être stoppée mécaniquement en « Y[67] » en cas d'approche d'un hélicoptère ou d'un drone.

Cependant, en l'absence du gestionnaire et de consignation mécanique, et si la situation le nécessite, l'usage du drone peut être toléré. Le télé-pilote devra adapter sa zone de vol pour éviter collision et perturbations par les déplacements d'air

Une communication sera établie dans la mesure du possible entre les sauveteurs et les personnes en hauteur.



Le COS fait réaliser un zonage adapté au pied de l'éolienne pour le dispositif de secours en prenant en compte les risques de chute de matériels de secours (mousqueton, etc.). © Guillaume Vermeulen – SDIS 59

L'ascension du mat de l'éolienne par les équipes de secours peut entraîner, vu les délais nécessaires, une aggravation de l'état des victimes. C'est pourquoi, il est recommandé de privilégier leur évacuation dès l'appel des secours si l'état de la victime le permet.

Si l'ascension des sauveteurs est nécessaire, les systèmes de protection contre les chutes propres (évolutif en fonction du type d'éolienne) à l'installation seront utilisés. Une attention particulière sera portée au choix des personnels engagés au regard de l'effort physique qui sera nécessaire.

[66] Les équipes des exploitants qui interviennent dans l'éolienne peuvent être un relais pour les secours notamment grâce à leurs formations de Sauvetage et d'évacuation (généralement labellisée GWO)

[67] Cette opération n'est pas possible sur la plupart des éoliennes. En cas d 'urgence, le rotor est bloqué mécaniquement.

En cas d'emploi d'un défibrillateur automatique, un isolant doit être placé entre la victime et le sol si la surface le nécessite (fibre).

L'utilisation de matériels de protection contre les chutes est systématique pour les sauveteurs et victimes, ainsi que le port permanent du casque. L'évacuation depuis la nacelle ou le mât doit être réalisée avec les techniques professionnelles de secours en milieu périlleux. L'évacuateur d'urgence peut être utilisé avec les équipes de l'exploitant.

Une liaison radio permanente doit être maintenue avec les équipes présentes dans l'éolienne.

5.3. Les opérations diverses

Les autres opérations de secours sont principalement des problématiques de chute avec un spectre allant de la rupture du mat, la chute des pales et la projection de glace.



Le COS veillera à réaliser un zonage adapté. Il devra s'assurer de la mise en sécurité électrique de l'éolienne. Ce zonage devra rester matérialisé même après le départ des secours (en cas de vent, notamment vent fort, une distance supérieure sera préférable (à titre indicatif : minimum 6xH).

Les équipements présents dans la nacelle ou le mât peuvent générer des fuites d'huile avec des quantités de plusieurs centaines de litre.



Dans ce contexte, le flux de pollution doit être stoppé et absorbé avec les techniques opérationnelles de lutte contre les risques chimiques.

6. Les interventions sur les stockages de batteries

Le système de stockage électrochimique de l'énergie présente des problématiques de gestion complexe en termes de mise en œuvre des moyens de lutte adaptés et tout particulièrement en espace clos. Il est important de disposer d'une indication de l'état de charge de la batterie. En effet, plus l'état de charge va être important, plus la réaction sera intense (un état de charge bas reste dangereux). Il en est de même sur le volume de batterie ou sa capacité.

La possibilité de coupure assurant la séparation électrique entre l'unité de stockage et l'installation électrique est normalement prévue et accessible. Cette coupure n'exclut pas le fait que la batterie et les canalisations électriques entre la batterie et cette coupure vont rester sous une tension pouvant être dangereuse tant que les éléments de la batterie ne seront pas inopérants (par action volontaire ou destruction).

La première étape à réaliser consiste à détecter début d'emballement thermique d'une cellule, d'un pack de batterie, notamment si il y a une présence :

- des émissions de fumées blanches ou noires ;
- une odeur forte;
- des flammes, des claquements, des projections.



La prise d'information ne doit jamais se faire en ouvrant les portes des compartiments batteries afin d'éviter un apport d'oxygène.

Avant l'apparition externalisée de l'emballement thermique, il est préconisé de procéder à une surveillance de la température interne du pack de batterie en vue de prévenir et d'intervenir.

Cette surveillance peut se faire avec l'aide du *Battery Management System*[68] (BMS) et de ses mesures de températures lorsqu'elles sont accessibles à l'exploitant au moyen d'une caméra thermique ou d'un thermomètre laser le plus proche possible des cellules impactées en utilisant toujours les mêmes zones de mesures.

6.1. Les opérations de lutte contre l'incendie

Dès lors que la batterie est emballée, en fonction des enjeux environnementaux (propagation, isolement, etc.), il convient de s'abstenir de toute tentative d'extinction qui ne peut avoir que des effets indésirables :

- l'augmentation du temps de combustion ;
- la production accrue de fumées et de vapeur ;
- la projection importante de particules de métal en fusion
- une consommation importante d'eau ;
- des risques de pollutions par les eaux d'extinction.



Seule la protection de l'environnement est recommandée

[68] La BMS est mise en œuvre afin de gérer l'ensemble du système batterie en fonction des mesures du système (température, tension, courant…) et sur la base d'un algorithme de gestion développé par le constructeur. Le BMS a pour fonctions de gérer : l'équilibrage des sous-systèmes - l'arrêt de charge/décharge dès l'atteinte des conditions limites - la détermination des états de charge, santé et sécurité du système

Dans le cas où l'évènement déclencheur est externe à la batterie (incendie dans son environnement immédiat par exemple) il est important de limiter la montée en température de la batterie par un écran adapté (eau, couverture anti-feu).

Dans le cas où une unité de stockage est concernée, le COS, après concertation avec l'exploitant, pourra recourir à la part du feu

6.1.1. Les autres moyens d'extinction

Les extincteurs (eau, eau avec additif, CO2 et poudres) ont une efficacité faible. Ils permettent une réduction des flammes et du rayonnement le temps de la projection mais qui est systématiquement suivie d'une reprise de feu (risque de projection de métal en fusion).

La mousse contribue activement au refroidissement du stockeur mais ne présente aucun avantage supplémentaire.

Les bâches ignifugées permettent de limiter les projections mais ont une durée d'efficacité relativement courte (environ 30 secondes à 1 minute). Par ailleurs, elles facilitent l'émission des fumées blanches inflammables et leur propagation, et, lors de leur inflammation, la propagation du sinistre.

Les matières inertes tels le sable ou le ciment permettent une action d'étouffement à condition d'être déposées en quantité suffisante. Cette action mène à la génération des fumées blanches froides et inflammables (risque de cratère laissant évacuer des gaz inflammables voire des flammes ou des projections de matière).

6.1.2. La gestion des fumées

L'évacuation des fumées en milieu confiné semble capitale à la vue de leur inflammabilité, y compris en ce qui concerne les fumées froides émises en absence de flamme.

Ces fumées blanches et froides ont aussi tendance à se condenser sur des surfaces froides en déposant de l'électrolyte inflammable.

De plus, ces fumées froides non condensées sont inflammables. Lorsque l'emballement thermique se produit dans une atmosphère inerte ou pauvre en oxygène il existe un risque latent d'onde de pression explosive pour les intervenants.

Dans le cas de systèmes de batteries avec inertage automatique à l'argon par exemple, ces fumées doivent être traitées par ventilation avant pénétration des personnels dans le volume concerné.

6.1.3. Le déblai

Cette phase revêt une importance capitale et requiert, de la part du COS une attention particulière car les risques résiduels (électriques, thermiques, chimique, etc.) restent importants.

Une des difficultés réside dans le fait d'évaluer si l'ensemble des cellules a brûlé ou non dans sa totalité. Cette levée de doute doit permettre de prendre par la suite les mesures conservatoires appropriées. Il est recommandé de ne pas manipuler une batterie partiellement endommagée sans prendre des précautions particulières du fait du risque de reprise.

En effet, déplacer une batterie endommagée peut occasionner des court-circuit internes ou externes ayant pour conséquence :

- des arcs flashs violents avec projection de métal en fusion ;

- la création d'un nouvel emballement thermique à réaction immédiate ;
- la création d'un nouvel emballement thermique à réaction différée (quelques heures à plusieurs jours) ;
- un risque électrique latent.

En tout état de cause, si le déplacement est nécessaire il devra se faire avec les EPI pour les intervenants, un moyen en eau disponible et accompagnant la manœuvre, et dans la mesure du possible, une mesure de température ou une thermographie infrarouge de surveillance durant la manœuvre.

Ce déplacement sera légitimé par un risque résiduel lié à la batterie mettant en péril des personnes, des biens ou l'environnement. Un site sécurisé à l'écart de bâtiments ou d'éléments sensibles et permettant une surveillance facile sera recherché pour une mise en quarantaine de la batterie endommagée.

6.1.4. La surveillance

Le principal frein au désengagement des services d'incendie et de secours repose sur le risque de reprise d'un emballement thermique dans des délais qui sont souvent bien au-delà des délais observés pour d'autres types d'incendie (de quelques heures à plusieurs jours). Le risque électrique résiduel in-interruptible représente un frein supplémentaire au désengagement.



La notion du transfert de responsabilité à ce moment-là doit être clairement tracé et le COS doit faire part à l'exploitant/propriétaire des risques résiduels.

7. Les interventions sur les réseaux ferrés

Lors d'une intervention sur le réseau ferré de la SNCF et sur les voies urbaines ou suburbaines (métro, RER, tramway), les secours sont confrontés aux risques liés à la présence du courant de traction dans les caténaires et les rails de traction d'une part, et à la circulation des trains d'autre part.

Les coupures de courant de traction destinées à s'en prémunir sont toutefois susceptibles de perturber gravement la circulation des trains sur la totalité d'un réseau.

Il est donc nécessaire de ne recourir à la coupure d'urgence[69] que lorsque cette manœuvre s'avère absolument indispensable pour assurer la sécurité des personnels, associée ou non à une restriction de circulation. Elle est effective notamment dans les cas suivants :

- utilisation d'un moyen hydraulique dans l'axe des caténaires ;
- nécessité d'entrée dans la zone de la distance limite de voisinage.

Avant toute intervention à proximité des voies SNCF, urbaines ou suburbaines, une coupure d'urgence du courant de traction doit être demandée au CIL, au coordonnateur du COGC ou poste de commandement en l'absence de l'opérateur sur les lieux par l'intermédiaire du CODIS.

Cet ordre doit comporter :

- la mention : "coupure d'urgence" ;
- les indications permettant de localiser la zone à priver de tension (point kilométrique,

[69] Cette demande est une action distincte de l'arrêt de la circulation des trains.

n° du poteau caténaire, gares encadrantes, etc.) ;
- le motif ;
- l'identité du demandeur ou sa fonction.

7.1. Les voies SNCF et les voies urbaines

7.1.1. Les opérations de secours nécessitant la coupure d'urgence et un arrêt de la circulation

En tout premier lieu, le COS demande l'arrêt des circulations nécessaire à la réalisation de l'opération de secours. La coupure d'urgence, c'est à dire la mise hors tension de la caténaire par les moyens les plus rapides, est prévue exclusivement dans les cas suivants :

- le sauvetage d'une personne, présente à proximité de la caténaire en danger d'électrocution ;
- toute mise en œuvre de dispositif hydraulique sous pression au voisinage de la caténaire (incendie, matières dangereuses…).

En dehors des cas cités supra, le COGC, en accord avec le COS (ou via le CODIS), peut différer la demande de la coupure du courant de traction, dans le but de permettre l'écoulement du trafic et en particulier d'éviter les risques de sur-accident.

En tout état de cause, le COS ne doit considérer la mise hors tension comme effective qu'après avoir reçu confirmation.

7.1.2. Les opérations de secours nécessitant la consignation

Lors d'une opération sur ou à proximité de la caténaire, ou sur tout élément en contact direct avec la caténaire, il faut recourir à la « consignation », c'est-à-dire placer des perches de mises au rail.

Cette opération est du ressort des agents de la SNCF.

7.1.3. Les opérations de secours compatibles avec la circulation sans personnels engagés sur les voies

Cette mesure, exceptionnelle, est permise par la configuration des voies. Elle ne peut être demandée qu'à l'occasion d'un feu sur une motrice, sur un wagon ou dans une installation placée à proximité d'une voie, d'un sauvetage ou d'une opération de levage.

Dans ce cas, la circulation des trains « diesel » reste possible si elle ne présente aucun danger pour les personnels engagés.

7.1.4. Les opérations de secours nécessitant une restriction de circulation sans personnels engagés sur les voies

En cas de feu sur des installations placées à proximité des voies, ou encore lors de travaux de longue durée, il reste néanmoins possible d'autoriser la circulation des trains « en marche prudente » à proximité du lieu de l'intervention.

Cette demande est à faire auprès du CIL présent sur les lieux qui prend les mesures nécessaires.

7.1.5. Les opérations de secours sans risque électrique

Lorsque l'intervention est située à une distance supérieure à trois mètres de la caténaire, il n'y a pas lieu de recourir à la coupure d'urgence.

Pour intervenir sous les voitures du matériel roulant (dégagement de personnes accidentées par exemple), il est nécessaire de les isoler en abaissant les pantographes du train (demande à formuler auprès du conducteur). Dès lors, seule compte la protection des personnels face aux risques que présente la circulation sur la voie adjacente.

7.2. Les voies urbaines et suburbaines[70]

7.2.1. Les opérations de secours dans le métro

A l'arrivée sur les lieux de l'intervention, il appartient au COS d'appliquer les procédures spécifiques fixées par l'exploitant et notamment :

- demande la mise hors tension des rails de traction au chef de régulation ;
- attend la confirmation de la coupure de courant.

Dans tous les cas, lors d'une reconnaissance susceptible de parcourir plusieurs inter-stations, le chef de détachement doit contacter le chef de régulation avant de s'engager dans une nouvelle inter-station.

7.2.2. Les opérations de secours pour les tramways et les trolley-bus

La mise hors tension de la caténaire est possible depuis le poste de commandement logistique (PCL) ou le Poste de commandement énergie (PCE). Elle est demandée par les sapeurs-pompiers pour des interventions sur ou à proximité des caténaires, notamment en cas de feu ou autres opérations sur immeuble ou installation placé le long des voies, l'utilisation des lances ou la mise en place d'échelles.

Cette coupure d'urgence peut être demandée :

- au conducteur, qui répercute la demande au gradé du PCL si un tramway se trouve à proximité ;
- à la permanence générale, si aucun tramway ne se trouve à proximité.

La coupure d'urgence ne doit être considérée comme effective qu'après en avoir reçu la confirmation. Il peut subsister une tension résiduelle liée à la longueur du tronçon de la ligne affectée par l'accident. En conséquence, il est interdit d'y appuyer des échelles.

La consignation caténaire**, qui relève de l'exploitant**, peut être demandée :

- au machiniste ;
- au CIL ;
- au poste de commandement énergie.

Il n'est pas nécessaire de mettre hors tension la ligne aérienne de contact pour intervenir sur les voies ou sous les voitures du matériel roulant (prompt secours) mais les tramways ou les trolley-bus sont, dans ce cas, isolés en abaissant le pantographe[71].

[70] Un contact local avec les exploitants est nécessaire pour définir ou ajuster des procédures communes d'intervention.
[71] Cette manœuvre est effectuée par le machiniste depuis la cabine de conduite ou manuellement à l'aide de la perche située dans le tramway.

Une coupure différée peut être demandée par le COS lorsque l'intervention des services de secours est nécessaire aux abords immédiats de la LAC sans notion d'urgence immédiate (reconnaissance d'appartement, etc.). Cette dernière permet à l'exploitant de dégager la zone d'intervention de toute circulation et d'immobiliser les tramways en station.

Sur certains tronçons répertoriés dont les LAC se trouvent dans un rayon de 5 mètres d'un MEA qui se développerait en façade, la coupure différée est demandée dès le départ des secours afin de sécuriser la zone d'intervention avant l'arrivée des moyens.

7.3. La reprise de la circulation

A la fin d'une intervention, le COS doit s'assurer que tous les intervenants des services de secours ont bien dégagé la zone dangereuse. Lorsque l'intervention est terminée et les voies dégagées, le COS informe le CIL ou le représentant de l'exploitant de la fin de l'opération de secours. L'information donnée par le COS ne concerne que le désengagement des services de secours.

La levée de la coupure d'urgence du courant de traction est autorisée par le COS. Le CIL ou le représentant de l'exploitant reprend à sa charge les mesures de rétablissement du courant d'alimentation électrique.

Un transfert de responsabilité de la protection des intervenants, du COS vers le CIL ou le représentant de l'exploitant est alors opéré et tracé par messagerie radio à fin d'enrgistrement.

8. Le secours d'urgence aux personnes

La prise en charge des victimes est conforme aux recommandations dans le domaine des premiers secours, aux référentiels nationaux d'activités et de compétences pour les sapeurs-pompiers professionnels et volontaires et aux formations équivalentes dispensées dans les unités militaires.

ANNEXE A – Abréviations utilisées dans ce guide

AC : *alternative current*
AGCP : appareil général de coupure et de protection
ARI : appareil respiratoire isolant
BDFE : bureau de la doctrine, de la formation et des équipements
BMS : *battery Management System*
BT : basse tension
CAT : cadre d'astreinte transport
CID : *current Interrupt Device*
CIL : chef d'incident local
CIP : chef d'incident principal
CIS : centre d'incendie et de secours
CODIS : centre opérationnel départemental d'incendie et de secours
COGC : centre opérationnel de gestion des circulations
COS : commandant des opérations de secours
CoTTRiM : contrat territorial de réponses aux risques et aux effets de menaces
CRSS : compte-rendu de sortie de secours
CTA : centre de traitement de l'alerte
DC : *direct current*
DECI : défense extérieure contre l'incendie
DGSCGC : direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises
EDF : Electricité de France
EDLC : *electrochemical double layer capacitator*
EIC : établissement infrastructure circulation
ELD : entreprises local de distribution
EPI : équipement de protection individuelle
ERP : établissements recevant du public
ESS : *energy strorage System*
ETARE : établissement répertorié
GDO : guide de doctrine opérationnelle
GER : groupes électrogènes de remplacement
GES : groupes électrogènes de secours (
HT : haute tension
LAC : ligne aérienne de contact
ORSEC : organisation de la réponse de sécurité civile
OSD : *overcharge Safety Device*
PC : poste de commandement
PCB : polychlorobiphényle
PCE : poste de commandement énergie
PCL : poste de commandement logistique
PFLAU : plateforme de localisation d'appels d'urgence
PPV : panneau photovoltaïque
PSEM : postes sous enveloppe métallique
PTC : *Positive Temperature Coefficient*
PV : photovoltaïque
RER : réseau express régional
RFN : réseau ferré national
RTE : réseau de transport d'électricité
SAMU : service d'aide médicale urgente
SDACR : schéma départemental d'analyse et de couverture des risques
SDDRH : sous-direction de la doctrine et des ressources humaines
SDIS : service départemental d'incendie et de secours

SIS : service d'incendie et de secours
SMPM : secours en milieu périlleux et montagne
SNCF : société nationale des chemins de fer français
SSE : systèmes de stockage de l'énergie
STEP : stations de transfert d'énergie par pompage
TGBT : tableau général basse tension
USAR : unité de sauvetage, d'appui et de recherche

ANNEXE B – Les systèmes de stockage d'énergie[72]

1. Le stockage mécanique

1.1. Les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP)

Ce système de stockage repose sur le principe de l'énergie gravitaire. Ce système, lié à l'énergie hydroélectrique, fonctionne sur le principe de deux retenues d'eau à des hauteurs différentes et est souvent couplé avec un barrage. Lorsque l'électricité est produite en excès, l'eau du bassin inférieur est pompée via une conduite forcée vers le bassin supérieur, qui devient un réceptacle d'énergie potentielle.

Lorsque le besoin se fait ressentir, une partie du réservoir supérieur est vidée et, par gravité, l'eau passe dans une turbine qui produit l'électricité. C'est un système réversible qui associe pompe et turbine. Elles peuvent également être associées à de grandes installations d'énergies renouvelables ; notamment pour réguler et lisser la production de grosses fermes éoliennes via le creusement de bassins artificiels.

En France, les six STEP existantes ont une production autour de 5 TWh en moyenne par an (pour une consommation annuelle d'environ 500 TWh).

1.2. Le stockage par air comprimé

L'air est d'abord comprimé via un système de compresseurs alimentés des éoliennes ou des panneaux photovoltaïques, à très haute pression (70 à 150 bar) pour être stocké dans un réservoir (cavités souterraines par exemple).

Pour récupérer cette énergie potentielle, l'air est détendu dans une turbine qui entraîne un alternateur. Comme l'air se réchauffe pendant sa compression, la chaleur à la sortie du compresseur peut être récupérée via des échangeurs et stockée afin d'être utilisée pour réchauffer l'air en entrée de la turbine.

1.3. Le stockage par volant d'inertie

Le stockage d'énergie par volant d'inertie consiste à emmagasiner de l'énergie cinétique grâce à la rotation d'un objet lourd (une roue ou un cylindre), mu généralement par un moteur électrique, et à restituer ensuite cette énergie en utilisant le moteur en sens inverse comme générateur d'électricité.Le stockage par inertie est donc surtout utilisé pour la régulation et l'optimisation d'un système, et non pour assurer une longue durée d'autonomie, comme les batteries ou le turbinage hydraulique.

On le retrouve sur le réseau ferroviaire (métro à Rennes), les systèmes automobiles, la régulation des réseaux électriques, le lissage de l'énergie solaire et éolienne.

2. Le stockage thermique

Le stockage thermique concerne principalement le chauffage (stockage de chaleur) et la climatisation des bâtiments (stockage de froid). L'idée du stockage de chaleur est de recueillir la chaleur quand elle est disponible (l'été, le jour) pour la réutiliser quand on en a besoin (le soir, l'hiver). Ainsi, la chaleur des capteurs solaires et la chaleur perdue des équipements d'air conditionné peut être collectée pendant la saison chaude et être utilisée pour le chauffage

[72] D'après « stockage stationnaire de l'énergie : risques et solutions envisageables. Voir bibliographie.

quand elle est nécessaire, y compris pendant les mois d'hiver. Il est également possible de stocker la chaleur perdue produite par certaines industries.

Tout matériau possède la capacité de libérer ou de stocker de la chaleur via un transfert thermique. Ce transfert peut être :

- par chaleur sensible, c'est-à-dire par changement de la température du matériau ; la chaleur est alors emmagasinée dans le matériau (la plupart du temps de l'eau). Le stockage sensible de grande capacité concerne surtout le stockage saisonnier en réservoirs (aquifères naturels, roches, etc.) ;
- par chaleur latente, c'est-à-dire par changement de phase du matériau, généralement changement solide/liquide d'un matériau pour lequel la variation volumique est faible. Il n'existe pas à ce jour d'installations de stockage de grande capacité basées sur ce principe mais de nombreux projets sont en cours.

Le stockage de chaleur peut aussi se faire par voie thermochimique (ou sorption) via des procédés mettant en œuvre des réactions chimiques réversibles qui permettent de séparer un produit sous l'effet d'une source de chaleur. Les deux (ou plus) composants sont alors stockés séparément sans perte thermique et la chaleur est restituée lorsqu'ils sont remis en présence en reformant le produit initial. Les procédés mis en œuvre ici sont plus complexes mais des applications existent pour la climatisation des bâtiments.

3. Le stockage électrique

Un supercondensateur est un condensateur de technique particulière permettant d'obtenir une densité de puissance et une densité d'énergie intermédiaire entre les batteries et les condensateurs électrolytiques classiques.Ces composants permettent donc de stocker une quantité d'énergie intermédiaire entre ces deux modes de stockage, et de la restituer plus rapidement qu'une batterie.

La majorité des supercondensateurs commercialisés sont réalisés selon le procédé double couche électrochimique d'où le sigle anglo-saxon EDLC (*electrochemical double layer capacitator*).

4. Le stockage électrochimique

Le stockage d'électricité s'effectue grâce à des réactions électrochimiques qui consistent à faire circuler des ions et des électrons entre deux électrodes. Les composants chimiques peuvent être différents d'une technologie à une autre, donnant lieu ainsi à une grande variété de batteries.

Batteries lithium-ion (Li-ion)
Le fonctionnement de la batterie lithium-ion, actuel standard du marché, repose sur l'échange réversible de l'ion lithium entre une électrode positive et une électrode négative. Ces batteries équipent déjà plusieurs millions de véhicules électriques et hybrides rechargeables.

Batteries sodium pour stockage stationnaire
Ce domaine est aujourd'hui en plein essor et les installations se multiplient, en particulier sur les systèmes sodium-soufre adaptés au stockage stationnaire. Dotées d'une grande capacité énergétique et d'un excellent rendement, ces batteries fonctionnent à ce jour à haute température (de l'ordre de 300 °C) ce qui pose des problèmes, notamment de durée de vie.

Batteries sodium-ion
Encore à l'état de prototype, ce type de batterie se rapproche de la batterie li-ion. Son principe est le même, mais ses composés diffèrent : au lieu du lithium, on utilise du sodium, mille fois plus abondant sur terre et donc nettement moins cher. Elle reste néanmoins moins énergétique

que la batterie au lithium, mais paraît bien adaptée au stockage stationnaire.

Batteries à flux
Ces batteries permettent le stockage de l'énergie dans des liquides. Cette technologie peut devenir économiquement rentable pour les temps de stockage longs et les grandes quantités d'énergie stockée.

Les électrolytes peuvent également fonctionner comme liquides caloporteurs, facilitant ainsi la régulation de température, alors que les batteries conventionnelles dépendent d'une conduction passive de la chaleur, conduisant à des températures élevées à l'intérieur des cellules.

Plusieurs types de batteries à flux sont étudiées mais deux seulement sont commercialisées :

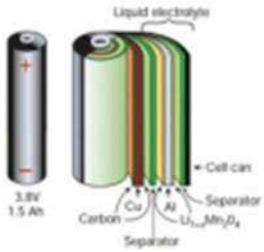
- les batteries Zn-Br ;
- les batteries à flux Vanadium (VFB).

De nouvelles technologies de batterie à flux à base de molécules actives organiques solubles dans l'eau sont en développement au stade pilote et permettraient une baisse des coûts de cette technologie tout en utilisant des matières premières abondantes.

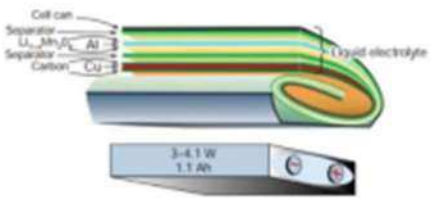
4.1. Le format des cellules

Il existe 3 formats de cellules :

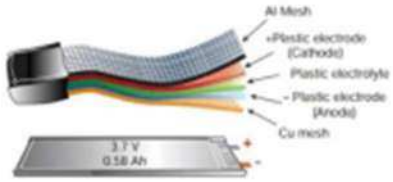
- les cellules cylindriques, similaires à la forme d'une pile classique ;
- les cellules prismatiques ;
- les cellules pouch (ou cellules "poches").



Cellules cylindriques

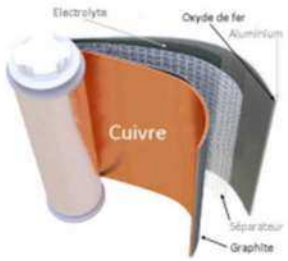


Cellules prismatiques



Cellules pouch

Voici la disposition des composants dans une cellule individuelle dont la "topologie" tend vers un enroulement.



4.2. Les unités et les caractéristiques

La tension d'une batterie est exprimée en volt (V) tandis que l'intensité du courant est exprimée en ampère (A). La tension d'une cellule est déterminée par la différence de potentiel électrique entre l'anode et la cathode. La puissance de charge est exprimée en watt (W) : elle est le produit de la tension de la borne de recharge et de l'intensité du courant qui l'alimente.

La capacité énergétique de la batterie est exprimée en kilowatt-heure (kWh) : cette valeur représente la quantité d'énergie disponible dans la batterie et détermine l'autonomie d'un véhicule électrique. Ce nombre correspond à la puissance que peut délivrer la batterie pendant une heure.

La capacité de charge d'une batterie est communément exprimée en ampère-heure (Ah), bien que l'unité officielle du système international soit le coulomb (C). Cette donnée détermine l'intensité maximum utilisable pour recharger la batterie.

La densité énergétique (Wh/kg) représente la quantité d'énergie disponible dans la batterie divisée par la masse de la batterie.

	Li-ion	Pb-acide	Ni-MH
			
Wh/kg	200 – 270	20 – 50	40 - 80
Wh/L	400 - 600	60 – 100	80 – 150

La durée de charge d'une batterie est généralement exprimée selon 2 critères :

- charge lente (en courant alternatif) : durée, en heures, pour charger la batterie de 0% à 100% en précisant la puissance de charge ;
- charge rapide (en courant continu) : durée, en minutes, pour charger la batterie de 0% (ou 20%) à 80%.

Le niveau de charge d'une batterie (souvent appelé SoC de l'anglais *State of Charge*) est exprimé en pourcentage (%).

4.3. La protection des cellules

L'emballement thermique va entraîner une forte génération de gaz inflammables à l'intérieur de la batterie concernée. Ces gaz vont être évacués soit par un évent prévu à cet effet, soit par l'explosion de l'enveloppe de la batterie. Des évents de sécurité permettent le dégazage et évitent la surpression pour limiter cet emballement :

- CID (Current Interrupt Device) – ouverture à 7 bars ;
- Event de sécurité - ouverture à 20 bars.

4.4. Les assemblages

En fonction de l'application de la batterie, les cellules sont assemblées en pack. La batterie sera constituée d'un ou plusieurs packs. La forme finale du pack est fonction de la destination de la batterie. La batterie est ensuite protégée par une coque appelée aussi « casing ». Elle offrira la protection mécanique à la batterie.

Dans l'industrie automobile, les cellules cylindriques sont essentiellement utilisées par Tesla (par exemple 4416 cellules pour la Model 3), les cellules prismatiques par BMW (et Tesla pour ses batteries LFP) tandis que les autres constructeurs ont généralement recours aux cellules « pouch ».

4.5. Un élément de sécurité à la conception des assemblages : le « BMS »

La conception de la batterie et de son assemblage est optimisée pour éviter une propagation de l'emballement. La gestion de la température est un facteur déterminant pour le maintien en fonctionnement dans les plages acceptables par la batterie. Ces systèmes sont soit avec le

flux d'air extérieur dans les voitures électriques ou des climatiseurs dans les conteneurs de stockage d'énergie.Enfin, la gestion électronique de l'ensemble est assurée par un système de gestion de la batterie : le BMS (Battery Management System).

Il joue un rôle capital de manière à éviter une usure précoce des cellules et un dysfonctionnement sévère de la batterie (risque d'incendie).

A cet effet, le système de gestion de la batterie tient compte d'une multitude de paramètres tels que :

- la quantité d'énergie reçue ;
- la quantité d'énergie distribuée ;
- la température des cellules / groupes / modules ;
- la température extérieure ;
- la température du liquide de refroidissement (le cas échéant) ;
- la tension des cellules / groupes.

ANNEXE C – L'étiquetage relatif aux installations photovoltaïques



ANNEXE D– Documents abrogés[73]

Interventions en présence d'éléments photovoltaïques. Guide de doctrine opérationnelle
Collectif
DGSCGC (2017, 62 pages, France, français)

Interventions dans les éoliennes. Guide de doctrine opérationnelle
Collectif
DGSCGC (2019, 48 pages, France, français)

[73] **Titre.** Auteur. Editeur (année, pagination, pays, langue)

ANNEXE E – Références bibliographiques[74]

Guide pratique « sécurité élec »
Jean-Pierre Beaulier et Christian Altani
CATUelec (2012, 156 pages, France, français)

Stockage stationnaire de l'énergie : risques et solutions envisageables
Collectif
CEA et SDIS 73 (2022, 144 pages, France, français)

Maitriser le risque lié aux installations photovoltaïques
Collectif
DGSCGC (2013, 48 pages, France, français)

[74] **Titre.** Auteur. Editeur (année, pagination, pays, langue)

PRINCIPALES MODIFICATIONS DU GUIDE

DATE	VERSION	MODIFICATION

GUIDE DE DOCTRINE OPÉRATIONNELLE

Opérations de secours en présence d'électricité

Ces guides ne sont pas diffusés sous forme papier.
Les documents réactualisés sont consultables sur le site du ministère.

Les documents classifiés ne peuvent être téléchargés que sur des réseaux protégés.

La version électronique des documents est en ligne à l'adresse :

http://pnrs.ensosp.fr/Plateformes/Operationnel/Documents-techniques/DOCTRINES-ET-TECHNIQUES-OPERATIONNELLES

Ce document est un produit réalisé par le bureau en charge de la doctrine de la formation et des équipements avec le concours d'un groupe de travail national.

Ministère de l'Intérieur et des Outre-mer

DIRECTION GÉNÉRALE DE LA SÉCURITÉ CIVILE ET DE LA GESTION DES CRISES

Direction des sapeurs-pompiers
Sous-direction de la doctrine
et des ressources humaines
Bureau de la doctrine, de la formation
et des équipements

Place Beauvau 75008 PARIS Cedex 08

dgscgc-bdfe
@interieur.gouv.fr

ISBN 978-2-11-167897-2

Couverture : DGSCGC/Communication. Photo : DR
Graphisme : Bruno Lemaistre/Sécurité civile. Janvier 2024